



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales

Evaluación del impacto económico en salud ocasionado por
contaminación antropogénica en el municipio de Morelia en el año 2010.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
POLITICAS PUBLICAS

Presenta:

Alfonso Augusto Ortega Caire

Director de Tesis:

Doctor en Economía, Mario Gómez Aguirre

Morelia, Michoacán; agosto de 2015

DEDICATORIA

A esa fuerza divina que me permitió seguir adelante.

A mi esposa Bertha, solo sé que existo y es por ti.

A nuestros hijos, Alfonso y Augusto, que son la bendición más grande.

A mi hermano, Raúl Gerardo “Pelache”, quien desde donde esté, estará orgulloso.

A mi Tía Esperanza, quien ha sido ejemplo, guía y apoyo.

A mi familia, que me motiva y anima a continuar preparándome.

Al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

AGRADECIMIENTOS

Con mi más sincero agradecimiento al Dr. Mario Gómez Aguirre por sus consejos, paciencia e invaluable ayuda para realización de este trabajo.

A los integrantes del H. Jurado Sinodales.

Dr. Carlos Ortiz Paniagua

Dr. Jerjes Izcoatl Aguirre Ochoa

Dr. José Odón García García

Al director del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Dr. José Carlos Rodríguez Chávez, y a todo el personal administrativo y docente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo y la beca otorgada para la consecución de esta meta.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, a la Universidad Nacional Autónoma de México, al Instituto de Geofísica de la UNAM, al H. Ayuntamiento de Morelia, a la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, al Instituto Mexicano de Competitividad, a la Organización Mundial de la Salud, a la Secretaría de Salud, al Instituto Nacional de Estadística y Geografía, al Instituto Mexicano del Seguro Social entre otras instancias e instituciones sin cuyo aporte bibliográfico y bases de datos no hubiese sido posible lograr este trabajo.

Índice

Contenido	Página
Resumen (Abstract)	1
Introducción	2

Capítulo 1

Fundamentos de la investigación

1.1	Planteamiento del problema	7
1.2	Preguntas de investigación	8
1.2.1	Pregunta general	8
1.2.2	Preguntas específicas	8
1.3	Objetivo de la investigación	9
1.3.1	Objetivo general	9
1.3.2	Objetivos específicos	9
1.4	Justificación del tema	10
1.4.1	Trascendencia del tema	11
1.4.2	Horizonte temporal y espacial	11
1.4.3	Viabilidad de la investigación	12
1.5	Hipótesis de la investigación	13
1.5.1	Hipótesis general	13
1.5.2	Hipótesis específicas	13

Capítulo 2

Marco teórico

Contaminación

2.1	Definición	14
2.2	Tipos de contaminación	14
2.2.1	Contaminación atmosférica	15
2.2.2	Contaminación del suelo	16
2.2.3	Contaminación del agua	16
2.2.4	Contaminación por basura	16
2.2.5	Contaminación radioactiva	16
2.2.6	Contaminación genética	17
2.2.7	Contaminación electromagnética	17
2.2.8	Contaminación acústica, visual y luminosa	17
2.3	Contaminación atmosférica y principales agentes contaminantes	18
2.3.1	Contaminantes primarios y secundarios	18
2.3.2	Principales contaminantes atmosféricos	19

Capítulo 3

Enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica antropogénica y guías de calidad del aire

3.1	Actualidad contaminación-salud	21
3.1.1	Papel de la OMS	22
3.1.2	Principales efectos de los agentes contaminantes atmosféricos y valores de las directrices de la OMS	23

3.1.3	Efectos dañinos de otros agentes contaminantes	29
3.2	Proyectos que relacionan contaminación y salud	30

Capítulo 4

Gestión ambiental

4.1	Políticas públicas	33
4.2	Primeras leyes en materia ambiental	34
4.3	Políticas públicas ambientales	35
4.3.1	Medidas generales para reducir la contaminación del aire	36
4.3.2	Papel de la OMS en el diseño de políticas públicas ambientales	37
4.4	Gestión ambiental del aire	38
4.4.1	Establecimiento de una red de monitoreo ambiental	39
4.4.2	Modelamiento atmosférico-climático y diseño de un modelo de contaminación atmosférica	40
4.5	Normas oficiales que regulan las emisiones contaminantes	41
4.5.1	Normas oficiales que regulan Europa	41
4.5.2	Normas oficiales mexicanas y sistemas de monitoreo de la calidad del aire en México	43

Capítulo 5

El costo de la contaminación atmosférica en Morelia

5.1	Introducción	45
5.2	Sintomatología y efectos generados por la contaminación del aire	47
5.2.1	Efectos de las partículas sobre la salud	50

5.3	Partículas PM ₁₀	50
5.4	Determinación del impacto económico	51
5.4.1	Tamaño de la muestra	52
5.4.2	Fuentes y datos	52
5.4.3	Supuestos principales	53
5.4.4	Funciones concentración-respuesta	54
5.4.5	Metodología para estimar el riesgo relativo	55
5.4.6	Literatura epidemiológica	57
5.4.7	Construcción de escenarios	59
5.4.8	Cálculo de impactos atribuibles a la contaminación	59
5.5	Cálculos y resultados Morelia 2010	61
5.5.1	Costos anuales	61
5.5.2	Muertes atribuibles a la contaminación	62
5.5.3	Pérdida de productividad total por muertes prematuras	62
5.5.4	Pérdidas por egresos hospitalarios	67
5.5.5	Costos por consultas	70
5.5.6	Costo por contaminación	72
5.6	Ventajas y limitaciones del modelo IMCO	75

Conclusión

Conclusión	76
------------	----

Recomendaciones de política pública ambiental	78
Eje rector	78
Lineamientos estratégicos	79
Bibliografía	81
Anexos	87

Siglas, sigloides y abreviaciones

$\mu\text{g}/\text{m}^3$:	Micro-gramo por metro cúbico de aire.
APHEA:	Air Pollution and Health
CAT:	Consultas atribuibles a la contaminación.
CE:	Comunidad Europea.
CFC:	Clorofluorocarbonos.
CH_4 :	Metano.
CO:	Monóxido de carbono.
CO_2 :	Dióxido de carbono.
COFEPRIS:	Comisión Federal para Protección contra Riesgos Sanitarios.
COHb:	Carboxihemoglobina.
CONAPO:	Consejo Nacional de Población.
COV:	Compuestos Orgánicos Volátiles.
CPMP:	Costo en productividad por muerte prematura.
DDT:	DicloroDifenilTricloroetano.
EAT:	Egresos hospitalarios atribuibles a la contaminación.
EE.UU.	Estados Unidos de Norteamérica.
EIS:	Evaluación de Impactos en Salud.
ENIGH:	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares.
ENOE:	Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo.
EPA:	Environmental Protection Agency.
FCR:	Funciones concentración-respuesta.
H_2SO_3 :	Ácido sulfuroso.
H_2SO_4 :	Ácido sulfúrico.
IARC:	International Agency for Reserch of Cancer.
IHME:	Institute for Health Metrics and Evaluation.
IMCO:	Instituto Mexicano de Competitividad A.C.

IMECA:	Índice Metropolitano de la Calidad de Aire.
IMSS:	Instituto Mexicano del Seguro Social.
INE:	Instituto Nacional de Ecología.
INECC:	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
INEGI:	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
INSP:	Instituto Nacional de Salud Pública.
ISSSTE:	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado.
LGEEPA:	Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
Ln:	Logaritmo natural.
Log:	Logaritmo.
MAT:	Muertes prematuras atribuibles a la contaminación.
NO:	Monóxido de nitrógeno.
NO ₂ :	Dióxido de nitrógeno.
NOM:	Norma Oficial Mexicana.
O ₃ :	Ozono.
OGM:	Organismos Genéticamente Modificados.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.
PCB:	Bifenilospoliclorados.
PEMEX:	Petróleos Mexicanos.
PM ₁₀ :	Material Particulado menor a 10 micras.
RAMA:	Red Automática de Monitoreo Atmosférico.
REDMET:	Red de Meteorología y Radiación Solar.
RR:	Riesgos Relativos.
SEMARNAT:	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SHCP:	Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
SIG:	Sistema de Información Geográfica.
SIMAT:	Sistema de Monitoreo Atmosférico.
SIMBAD:	Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos
SINAICA	Sistema Nacional para la Información de la Calidad del Aire.
SINAIS:	Sistema Nacional de Información de Salud.

SO ₂ :	Dióxido de azufre.
SUIVE:	Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica.
TMP:	Temperatura.
UE:	Unión Europea.
UMSNH:	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
VOC:	Volatile Organic Compounds.
ZM:	Zona Metropolitana.

Glosario

Alveolos pulmonares:	Son los divertículos terminales del árbol bronquial, en los que tiene lugar el intercambio gaseoso entre el aire inspirado y la sangre.
Biomasa:	La biomasa es la utilización de la materia orgánica como fuente energética. Por su amplia definición, la biomasa abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Estos recursos biomásicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. También se considera biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), y otros residuos derivados de las industrias.
Bioreceptores:	Estructura de un ser vivo que detecta diferentes estímulos del medio y los transmite al sistema nervioso para que este genere una respuesta mediante un efecto. Para que se active el estímulo, debe superar la umbral de excitación. Los receptores son específicos, esto quiere decir que solo reciben un tipo de estímulo dependiendo del receptor.
Calentamiento global:	Es el aumento observado en los últimos siglos de la temperatura media del sistema climático de la Tierra. Desde principios del siglo XX, esta temperatura global ha aumentado alrededor de 0,8 °C, valor cuyas dos terceras partes corresponden al periodo 1980-actualidad.. Cada una de las últimas tres décadas ha sido sucesivamente más cálida en la superficie terrestre que cualquier otra década precedente desde 1850. La causa de este fenómeno es el aumento de los gases de efecto invernadero, provocado por las actividades humanas.
Cardiopatías:	Engloba cualquier padecimiento del corazón o del resto del sistema

cardiovascular.

Combustión:

Es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía en forma de calor y luz, manifestándose visualmente gracias al fuego, u otros. Los tipos más frecuentes de combustible son las materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno (hidrocarburos). En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos que se forman son el dióxido de carbono (CO_2) y el agua, el dióxido de azufre (SO_2 , si el combustible contiene azufre) y pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura, la cantidad de oxígeno en la reacción y, sobre todo, de la presión.

Compuestos orgánicos volátiles, COV:

Son compuestos orgánicos ya que están formados principalmente de carbono, y se convierten fácilmente en vapores o gases. Junto con el carbono, contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Los COV son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes, pinturas y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo.

Compuestos organoclorados:

Son compuestos químicos orgánicos, es decir, compuestos por un esqueleto de átomos de carbono, en el cual, algunos de los átomos de hidrógeno unidos al carbono, han sido reemplazados por átomos de cloro, unidos por enlaces covalentes al carbono. Muchos derivados clorados son dañinos para los seres vivos, pudiendo llegar a ser cancerígenos. Muchos de ellos se emplean por su acción insecticida o pesticida.

Contaminación:

Alteración negativa del estado natural del medio como consecuencia de la actividad humana.

Contaminación antropogénica:

La que es originada por actividades realizadas por los seres humanos.

Contaminación atmosférica:

Es la alteración de la atmósfera por introducción de sustancias químicas y/o partículas, alterando su composición.

Contaminantes primarios:	Se emiten directamente a la atmósfera, como los gases de combustión.
Contaminantes secundarios:	Son aquellos que se forman mediante procesos químicos que transforman los contaminantes primarios o bien, las especies no contaminantes en la atmósfera.
DDT:	Es una sustancia órgano clorada desarrollada en 1950 para controlar plagas en cultivos agrícolas y los mosquitos de la malaria. La cadena que lo conforma químicamente es muy larga y no se descompone, produciendo bioacumulación (acumulación en el organismo) y biomagnificación (pasar de nivel en la cadena trófica alimenticia).
Desarrollo sostenible:	Consiste en satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.
Desechos radiactivos:	Son residuos que contienen elementos químicos radiactivos que no tienen un propósito práctico. Pueden generarse como subproductos de un proceso nuclear, como la fisión nuclear. También pueden generarse durante el procesamiento de combustible para los reactores o armas nucleares o en las aplicaciones médicas como la radioterapia o la medicina nuclear.
Desechos tóxicos:	Los desechos peligrosos o tóxicos han sido definidos como desechos o combinación de desechos que significan una amenaza sustancial presente o potencial a los seres humanos u otros organismos vivientes debido a que dichos desechos son no degradables o persistentes en la naturaleza. Las siguientes propiedades son usadas para definir un desecho peligroso: corrosividad, reactividad, flamabilidad, toxicidad, carcinogenicidad.
Desviación estándar:	La desviación estándar o desviación típica es la raíz cuadrada de la varianza. Es decir, la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación.
Dióxido de azufre:	Compuesto inorgánico, gas incoloro cáustico e irritante.
Dióxido de	Es un compuesto químico formado por los elementos nitrógeno y oxígeno,

nitrógeno:	uno de los principales contaminantes entre los varios óxidos de nitrógeno. Es de color marrón-amarillento. Se forma como subproducto en los procesos de combustión a altas temperaturas, como en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas, por lo que es un contaminante frecuente en zonas urbanas.
Dioxinas:	Son compuestos químicos que se producen a partir de procesos de combustión que implican al cloro. El término se aplica indistintamente a las policlorodibenzofuranos (PCDF) y las policlorodibenzodioxinas (PCDD). Las dioxinas devienen contaminantes ambientales persistentes; se encuentran en el medio ambiente a nivel global y se van acumulando a lo largo de la cadena alimentaria, principalmente en el tejido adiposo de los animales por su solubilidad en las grasas. Los productos de origen animal son los mayores contribuyentes a la ingesta de dioxinas por los humanos.
Emisiones Contaminantes:	La generación o descarga de materia o energía, en cualquier cantidad, estado físico o forma, que al actuar en los seres vivos, en la atmósfera, agua, suelo, subsuelo o cualquier elemento natural, afecte negativamente su composición o condición natural.
Energía renovable:	Es la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, undimotriz, la biomasa y los biocombustibles.
Estaciones de monitoreo ambiental:	Son instalaciones, generalmente gubernamentales, que se encargan de registrar datos con respecto a algún parámetro ambiental. Llevan registros detallados a lo largo del tiempo y permiten hacer comparaciones para registrar frecuencias y cambios en las condiciones ambientales. Estos permiten dar un seguimiento a los cambios registrados a lo largo de los años en el planeta.
Gases de efecto invernadero:	Son los gases presentes en la atmósfera terrestre que retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la

radiación solar. Sucede en todos los cuerpos planetarios rocosos dotados de atmósfera. Este fenómeno evita que la energía recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero.

Impacto ambiental: Cualquier cambio neto, positivo o negativo, que se provoca sobre el ambiente como consecuencia, directa o indirecta, de acciones antrópicas susceptibles de producir alteraciones que afecten la salud, la capacidad productiva de los recursos naturales y los procesos ecológicos esenciales.

Lixiviados de basura: El lixiviado es el agua que percola a través de los residuos depositados y que extrae, disueltos o suspendidos, materiales a partir de ellos. El lixiviado está formado por la mezcla de las aguas de lluvia infiltradas en el depósito y otros productos y compuestos procedentes de los procesos de degradación de los residuos.

Lluvia ácida: La lluvia ácida se forma cuando la humedad en el aire se combina con los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre y el trióxido de azufre emitidos por combustión de combustibles fósiles que contengan azufre. En interacción con el agua de la lluvia, estos gases forman ácido nítrico, ácido sulfuroso y ácido sulfúrico, sustancias químicas que caen a la tierra acompañando a las precipitaciones, constituyendo la lluvia ácida. La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente 5.65 (ligeramente ácido), debido a la presencia del CO_2 atmosférico, que forma ácido carbónico, H_2CO_3 . Se considera lluvia ácida si presenta un pH menor que 5 y puede alcanzar el pH del vinagre ($\text{pH}=3$), valores que se alcanzan cuando en el aire hay uno o más de los gases citados.

Material particulado (PM): Partículas en suspensión gaseosa, cuyos componentes son carbono, hidrocarburos, material soluble en agua, material insoluble con metales como hierro, plomo, manganeso y otros elementos, así como material biológico. De acuerdo a su tamaño las partículas se dividen en gruesas, que incluyen a partículas con diámetro entre 2.5 y 10 μm y finas, que tienen

tamaños menores a 2.5 μm .

Media aritmética:	El conjunto finito de números que es igual a la suma de todos los valores dividido entre el número de sumandos que intervienen.
Metano:	Es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH_4 . Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro, inodoro e insoluble en agua, se produce en la naturaleza como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. El metano es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra.
Metro cúbico (m^3):	El metro cúbico es una unidad de volumen. Se corresponde con el volumen de un cubo de un metro de arista. Es la unidad básica de los volúmenes del Sistema Internacional de Unidades. Equivale a un kilolitro.
Microgramo (μg):	Es una unidad de masa del Sistema Internacional de Unidades que equivale a la milmillonésima parte de un kilogramo (10^{-9} kg) o a la millonésima parte de un gramo (10^{-6} g).
Monitoreo ambiental:	El monitoreo ambiental se define como la observación de la presencia de factores dañinos como toxinas, bacterias, sustancias químicas y otros contaminantes en un lugar específico. Estos lugares con frecuencia deben incluir sitios como el área de trabajo o ciertas áreas del ambiente.
Monóxido de carbono:	Es un compuesto inorgánico, gas incoloro, inodoro e insípido, ligeramente menos denso que el aire.
Morbilidad:	Es un término de uso médico y científico y sirve para señalar la cantidad de personas o individuos considerados enfermos o víctimas de una enfermedad en un espacio y tiempo determinados.
Neumopatías:	Es cualquier problema en los pulmones que impide que éstos trabajen apropiadamente.
Normas oficiales mexicanas, NOM:	Es una serie de normas cuyo objetivo es asegurar valores, cantidades y características mínimas o máximas en el diseño, producción o servicio de

los bienes de consumo entre personas morales y/o personas físicas, sobre todo los de uso extenso y de fácil adquisición por parte del público en general, poniendo atención en especial en el público no especializado en la materia.

Organismos genéticamente modificados, OGM: Organismos cuyo material genético ha sido alterado usando técnicas de ingeniería genética. Esta permite modificar organismos mediante la transgénesis o la cisgénesis, es decir la inserción de uno o varios genes en el genoma. Los OGM incluyen micro-organismos como bacterias o levaduras, insectos, plantas, peces, y animales.

Organización Mundial de la Salud: La Organización Mundial de la Salud (OMS) es el organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial.

Ozono: Es un compuesto alótropo del oxígeno; es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los 2 átomos que componen el gas de oxígeno. Cada átomo de oxígeno liberado se une a otra molécula de Oxígeno gaseoso (O_2), formando moléculas de Ozono (O_3).

Permafrost: Es la capa de hielo permanente en los niveles superficiales del suelo de las regiones muy frías o periglaciares, como es la tundra. También se ha encontrado este fenómeno en la superficie del planeta Marte. El permafrost se puede dividir en pergelisol, la capa helada más profunda, y mollisol, capa más superficial que suele descongelarse. Durante cientos de miles de años, el permafrost del Ártico ha acumulado grandes reservas de carbono orgánico.

Pesticidas: Son productos químicos originalmente inventados para mejorar el ambiente humano controlando formas de vida indeseable tales como pestes o insectos. Sin embargo, su aplicación ha causado problemas de contaminación. Son persistentes, bioacumulativos y no degradables por actividad biológica o química.

Políticas públicas ambientales:	Es el conjunto de los esfuerzos políticos para conservar las bases naturales de la vida humana y conseguir un desarrollo sostenible.
Políticas públicas:	Se componen de un curso de acción y flujo de información relacionado con un objetivo público, definido en forma democrática, y son desarrolladas por el sector público, y frecuentemente con la participación del sector privado.
Radioactividad:	es un fenómeno que ocurre en los núcleos de ciertos elementos, inestables, que son capaces de transformarse, o decaer, espontáneamente, en núcleos atómicos de otros elementos más estables. Para ello, los núcleos de algunos elementos químicos, llamados radiactivos, emiten radiaciones ionizantes. Las radiaciones emitidas pueden ser electromagnéticas, en forma de rayos X o rayos gamma, o bien corpusculares, como pueden ser núcleos de helio, electrones o positrones, protones u otras.
Sistema de información geográfica SIG:	Es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.
Varianza:	En teoría de probabilidad, la varianza (que suele representarse como σ^2) de una variable aleatoria es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.

Relación de gráficas

No.	Título	Página
I.1	Concentración de PM ₁₀ en 24 horas ciudad de Morelia	3
I.2	Población histórica de la ZM de Morelia (1990-2010)	3
I.3	Concentración promedio anual de partículas PM ₁₀ (µg/m ³)	4
I.4	Parque vehicular en Morelia 2010	5
V.1	Distribución de costos por muertes prematuras por edades	67
V.2	Pérdidas por egresos hospitalarios	70
V.3	Pérdidas por consultas y ausentismo	72
V.4	Costo total de la contaminación antropogénica	74

Relación de figuras

No.	Título	Página
II.1	Contaminación atmosférica. Aspecto del Distrito Federal, el cual se encuentra entre las ciudades más contaminadas del mundo.	15
III.1	Partículas menores a 10 micras y a 2.5 micras, lo que se conoce como material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5} .	24
III.2	Desde la era pre industrial, la contaminación atmosférica de metano (CH ₄) se ha incrementado en un 150%.	30
III.3	En el proyecto Aphekon participaron 25 ciudades, 12 países, 39 millones de habitantes.	32
IV.1	Estación de monitoreo de la ciudad de Morelia, Michoacán.	44

Relación de tablas

No.	Título	Página
V.1	Funciones exposición-respuesta para la población general por exposición a PM_{10}	49
V.2	Variables	52
V.3	Parámetros y variables económicas	53
V.4	Variables para los modelos econométricos	55
V.5	Estimadores IMCO con intervalo de confianza al 95%	57
V.6	Estimadores de la literatura epidemiológica	58
V.7	Estimadores empleados	59

Resumen (Abstract)

Existe una relación directa entre el aumento en la contaminación atmosférica antropogénica por encima del valor fijado en la norma internacional de la OMS; la cual señala máximo $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} y el aumento en la incidencia en enfermedades. Esta relación puede ser medida con el propósito de determinar el impacto económico de la contaminación atmosférica en salud. De esta manera, podemos elaborar políticas públicas ambientales basándonos en el impacto económico y su viabilidad en las posibles soluciones. La ciudad de Morelia representa un caso excepcional, ya que a diferencia de todas las ciudades de más de medio millón de habitantes y menos de un millón, presenta una industria prácticamente nula y no se han implementado programas para el control de contaminantes por vehículos automotores. Por lo tanto, el poder determinar el costo no solo es una necesidad económica, sino una necesidad social en salud, pues de esta manera, se podría evaluar el número de pacientes que tienen consulta, se hospitalizan o mueren a consecuencia de la contaminación antropogénica.

Palabras clave: contaminación, antropogénica, PM_{10} , Morelia, salud.

There is a direct relationship between the increase of anthropogenic air pollution above the value set on the international standard of WHO; which indicates maximum $20 \mu\text{g} / \text{m}^3$ PM_{10} and increased incidence in disease. This relationship can be measured with the purpose of determine the economic impact of atmospheric pollution in health. Thus, we can carry out environmental policies based on economic impact and the viability to find possible solutions. The Morelia city represents an exceptional case because, unlike other cities with more of a half million and less of one million inhabitants, the industry is practically nonexistent and there are no plans to control pollutants from motor vehicles. Therefore, the cost evaluation is not only an economic need but a social health need, because this way, it could be possible to evaluate the number of patients having medical consultation, who are hospitalized or died as a result of anthropogenic pollution.

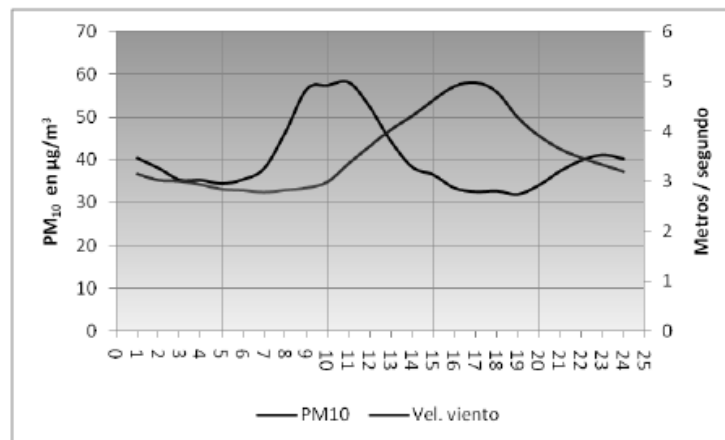
Introducción

En los últimos 50 años, la sociedad ha tomado mayor conciencia de la importancia de las políticas públicas ambientales, viendo a éstas como una solución viable al estado de degradación ambiental. Este proceso de conciencia a nivel global, se basa en el conocimiento y el análisis interdisciplinario de la compleja problemática socioambiental (García, 2006). El tema del desarrollo sustentable, más que una moda, atiende a una necesidad entendida como "aquella que garantice las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (CMMAD, 1987), la definición asumida en el Principio 3° de la Declaración de Río (CMMAD, 1992).

No podemos planear y plantear una política pública ambiental sin contar con indicadores fiables que midan de manera adecuada el impacto de la actividad antropogénica en el medio ambiente; es decir, debemos de contar con una adecuada evaluación del impacto ambiental (EIA). Debemos conocer con certeza, la cantidad de emisiones contaminantes PM_{10} que rebasan a la norma internacional de la OMS, (la cual es de $20 \mu g/m^3$ de partículas PM_{10} suspendidas en la atmósfera), ya que cualquier aumento por encima de esta, implica una incidencia mayor de la contaminación en la salud, aumentando con esto proporcionalmente las tasas de mortandad y morbilidad ligadas a la contaminación.

La aplicación de acciones estructurales y no estructurales, no es posible si no contamos con un modelo eficiente que nos permita determinar el grado de afectación y costo derivado de la presión antropogénica en el aire que respiramos; un modelo adecuado nos permite evaluar la magnitud de los cambios sucedidos, detectar sus dinámicas evolutivas y proponer las medidas adecuadas de respuesta al respecto (UNDP, 2005).

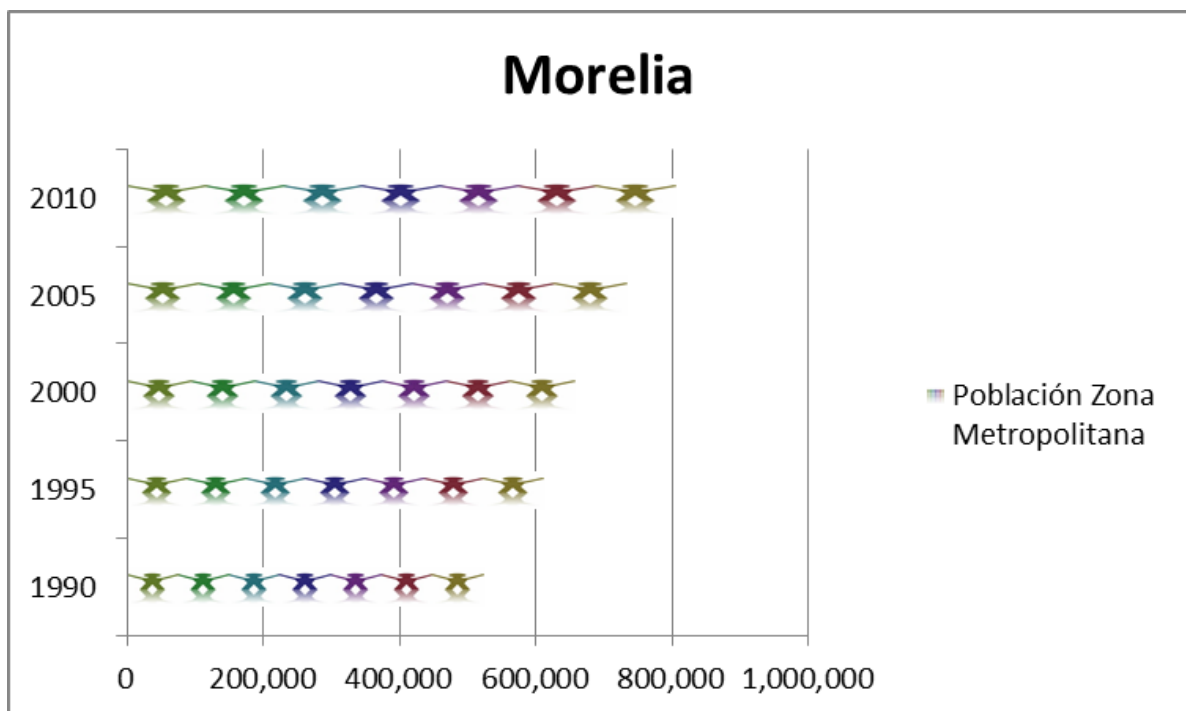
El objetivo del presente trabajo, es determinar el costo del impacto de la contaminación ambiental antropogénica en el municipio de Morelia en el año 2010; esto se logrará relacionando el promedio anual de contaminación superior a la norma OMS de este municipio y el impacto económico que genera dicho aumento en morbilidad y mortandad.



Gráfica I.1. Concentración de PM₁₀ en 24 horas en la Ciudad de Morelia

Fuente: Estación de monitoreo ubicada en Palacio Municipal de Morelia Michoacán 2010

El constante aumento de los índices de contaminación atmosférica antropogénica en nuestra ciudad, se ha agravado debido a una nula política pública de crecimiento urbano y al cambio indiscriminado en el uso de suelo.

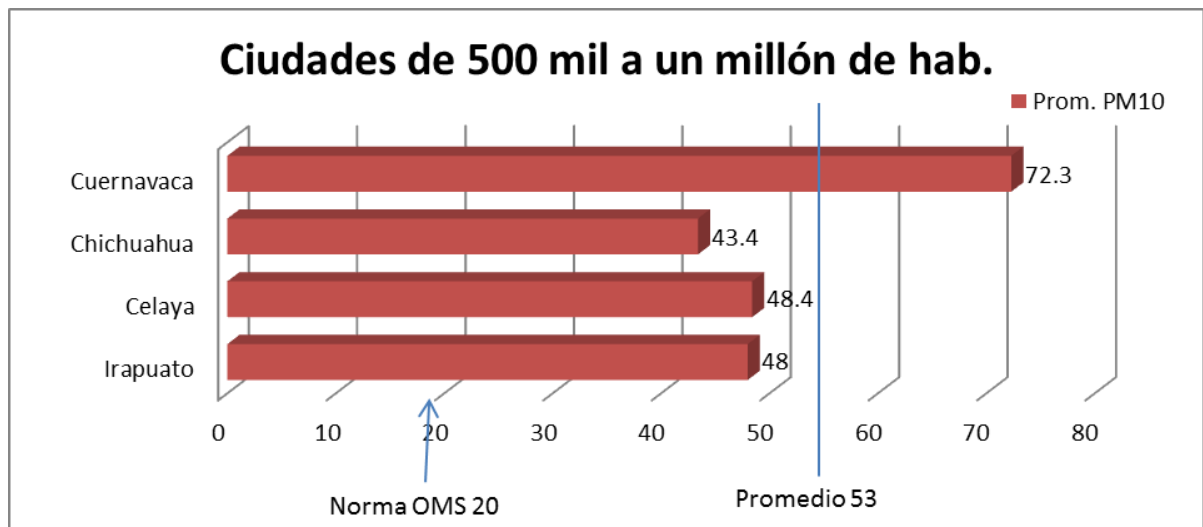


Gráfica I.2. Población histórica de la ZM de Morelia (1990-2010).

Fuente: INEGI 2010

Debido a ese crecimiento descontrolado e indiscriminado, las vialidades quedaron rebasadas y los efectos de la contaminación atmosférica se hicieron más evidentes; aunado a esto, no se cuenta a la fecha con un programa para controlar la contaminación producida por los motores de combustión interna ya que todo intento por establecer mecanismos de verificación ha fracasado. Pese a esto, es en 2008 cuando se establece la primera estación de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad y es a partir de 2009 cuando contamos con datos estadísticos de las concentraciones de PM_{10} en el centro de Morelia.

El Instituto Mexicano de Competitividad (IMCO) nos presenta en 2013 un estimado del costo en salud derivado de la contaminación antropogénica tomando estadísticas del 2010, pero debido a que las autoridades no reportan datos para 2010, asumieron que la concentración anual es igual al promedio de las observaciones para las ciudades de 500,000 a 1 millón de habitantes (Cuernavaca, Chihuahua, Celaya e Irapuato) con la cual se determinó que nuestra ciudad tenía en promedio $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} .

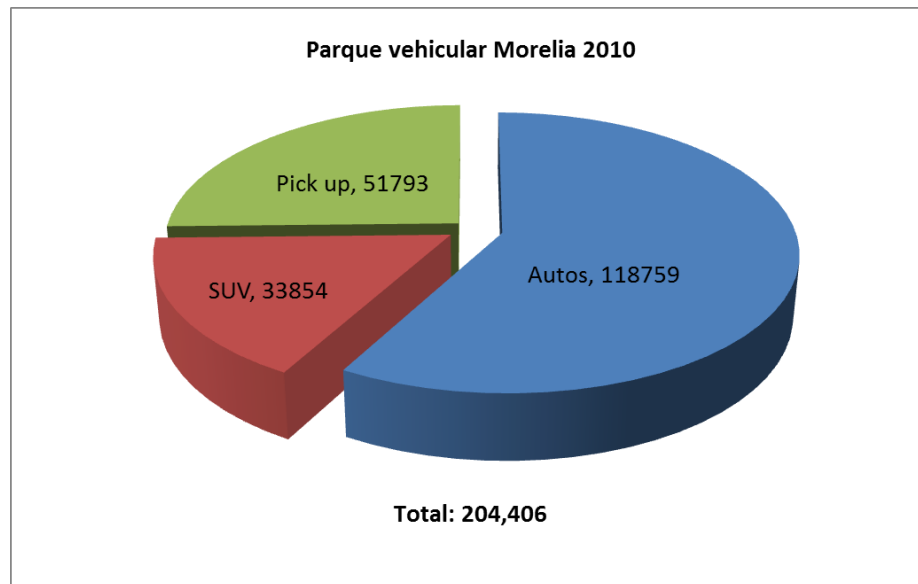


Gráfica I.3 Concentración promedio anual de partículas PM_{10} $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ciudades de 500,000 a 1'000,000 de habitantes.

Fuente: IMCO 2010

No se tomó en cuenta que Morelia es un caso particular: la diferencia señalada de las malas vialidades y la inexistencia de controles de contaminación para automotores, nos diferencian de otras ciudades con índices poblacionales similares; aunado a esto, tampoco puede

ser comparada nuestra planta industrial ya que esta es casi nula en Morelia por lo que prácticamente toda la contaminación es generada por la quema de combustibles fósiles por automotores.



Gráfica I.4 Parque vehicular en Morelia 2010

Fuente: INE 2010

Dadas estas diferencias y contando con datos estadísticos de los índices de contaminación, **no** es posible tomar por ciertos los datos que nos presenta el IMCO y se formula la pregunta sobre el verdadero costo del impacto en salud de la contaminación atmosférica antropogénica en Morelia.

A fin de determinar las hipótesis tanto general como específicas, en el capítulo 1, fundamentos de la investigación, se presenta la relación que existe entre los índices de contaminación y el aumento en morbilidad y mortandad, así como el estado de contaminación de antropogénica en el año 2010 en el municipio de Morelia, con el fin de justificar el tema y mostrar el sentido de nuestra investigación.

En el capítulo 2 se aborda el tema de la contaminación, partiendo de los conceptos fundamentales a lo inherente a la presente tesis, que es la contaminación atmosférica y los tipos de agentes contaminantes del aire.

El capítulo 3 abarca lo referente al tema de los problemas de salud asociados a la contaminación atmosférica y las directrices que he emitido la OMS respecto al tema y que deben ser observadas por los países miembros (de la OMS). Además, se hace una recopilación de estudios sobre los efectos de los contaminantes de la salud.

En el capítulo 4 se enuncian las leyes ambientales de manera histórica y lo que rige actualmente la gestión ambiental tanto a nivel mundial como a nivel local. Se describe el método de monitoreo que se utiliza de manera regular en la mayoría de las grandes ciudades del mundo.

Es en capítulo 5 se presentan los datos relativos a los índices de contaminación atmosférica del municipio de Morelia y se hacen los cálculos correspondientes aplicando las fórmulas que ahí se detallan y explican.

En la Conclusión se presenta un análisis de los resultados obtenidos de la evaluación de impacto ambiental en la salud expresada en costo económico así como los lineamientos sugeridos para la creación de políticas públicas ambientales.

Capítulo 1

Fundamentos de la Investigación

1.1 Planteamiento del problema

El aumento de la incidencia negativa derivada de la actividad humana (antropogénico) sobre el planeta tierra, se ve reflejada a priori sobre la devastación y contaminación que genera el uso de materias primas y combustibles fósiles contaminantes en los diferentes bienes comunes, (ríos, lagos, mares, océanos, aire).

Pero los efectos de dicha contaminación, no siempre son inmediatos, en específico la contaminación del aire a través de la emisión antropogénica de materiales particulados menores a 10 micras (PM_{10}), es potencialmente peligrosa, ya que estas partículas al superar la norma de la OMS, se alojan en el organismo e inciden exponencialmente en la propensión a algunas enfermedades, esto conlleva un costo económico derivado de las consultas, medicinas, incapacidades e incluso muerte (morbilidad y mortandad).

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo. Según las últimas estimaciones de la OMS sobre la carga mundial de morbilidad, la contaminación del aire exterior e interior provoca unos siete millones de defunciones prematuras las cuales se deben a la exposición a partículas PM_{10} o menores. Esto representa actualmente uno de los mayores riesgos sanitarios mundiales, comparable a los riesgos relacionados con el tabaco, y superado únicamente por los riesgos sanitarios relacionados con la hipertensión y la nutrición.

Los habitantes de países de ingresos bajos y medianos sufren desproporcionadamente la carga de morbilidad derivada de la contaminación del aire exterior y la mayor carga de morbilidad se registra en las regiones del Pacífico Occidental y el Asia Sudoriental. Las últimas estimaciones de la carga de morbilidad reflejan el importantísimo papel que cabe a la

contaminación del aire; y su impacto económico, mucho más de lo que creían los científicos anteriormente.

En México, la contaminación ambiental participa de forma importante como una de las principales causas de infecciones respiratorias, sin embargo, las causas de enfermedad cardiovascular favorecidas por la contaminación ambiental son una línea de investigación poco explorada en nuestro país, esto es un tópico importante dado que esta ocupa la segunda causa de mortalidad general y la primer causa de muerte en la población de 65 años y más para ambos sexos en nuestro país (Lezama, 2000).

En Morelia, se cuentan con registros de los índices de contaminación por PM_{10} a partir del año 2009 y es solo entonces, que podemos comenzar a determinar la incidencia que tienen sobre algunas enfermedades y padecimientos y el costo tanto en morbilidad como en mortalidad esto con el fin de poder justificar una política pública de salud y ambiental sustentada en la relación costo-beneficio.

1.2 Preguntas de investigación

1.2.1 Pregunta general

¿Cuál es el costo económico de la incidencia en salud y muerte, asociadas a la contaminación atmosférica antropogénica en el Municipio de Morelia en el año 2010?

1.2.2 Preguntas específicas

¿Cuál fue el nivel de contaminación atmosférica promedio en la ciudad de Morelia en el año 2010?

¿Cómo se reflejó el nivel de contaminación atmosférica en la incidencia de las principales enfermedades asociadas a este tipo de contaminación?

¿Cuál fue el costo total derivado de las enfermedades y muerte asociadas a la contaminación atmosférica?

1.3 Objetivo de la investigación

En relación con la pregunta general y las específicas de la investigación se establecen el objetivo general y los específicos con los que se pretende dar respuesta a las preguntas de investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar el costo de la incidencia en salud y muerte, asociadas a la contaminación atmosférica antropogénica en el Municipio de Morelia en el año 2010.

1.3.2 Objetivos específicos

Obtener datos de la contaminación atmosférica del municipio de Morelia en el año 2010.

Obtener datos de las enfermedades y muertes en el municipio de Morelia en el año 2010 y determinar las que correspondan a contaminación atmosférica antropogénica.

Calcular el costo de las enfermedades, incapacidades y muerte asociadas a la contaminación atmosférica antropogénica en el municipio de Morelia en el año 2010.

1.4 Justificación del tema

La relevancia de estudiar el costo económico que implica los niveles de contaminación antropogénica en salud para el municipio de Morelia, estriba en contar con datos confiables que nos permitan elaborar políticas públicas ambientales orientadas a contener e incluso disminuir los índices de contaminación en Morelia; si no conocemos la dimensión en muertes y enfermedades y el costo que esto implica, no podemos elaborar con precisión dicha política.

No existe a la fecha un estudio elaborado con datos reales sobre el costo económico de la contaminación antropogénica para el municipio de Morelia, en específico la relativa a las PM_{10} , por lo que este trabajo más allá de los resultados obtenidos, espera ser un parteaguas y poner dentro de la agenda de políticas públicas ambientales del municipio y del estado, la imperiosa necesidad de contar con una red de monitoreo de la calidad del aire, así como contar con un estricto control sobre morbilidad y mortandad asociadas a la contaminación antropogénica; esto se logrará, a través de conocer el impacto económico negativo que se genera a la fecha y la viabilidad de implementar un plan de contención y disminución de contaminantes antropogénicos.

Para evaluar los costos asociados al impacto de la contaminación atmosférica en la salud pública, es necesario contar con un registro confiable de datos sobre lo siguiente: contaminantes más frecuentes presentes en el aire, niveles de estos contaminantes, y las zonas donde se detectan los índices mayores. Lo anterior para poder establecer una incidencia de determinadas enfermedades asociadas a la contaminación en la ciudad de Morelia. La norma NOM-156-SEMARNAT-2012 “Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire”, que entró en vigor en julio de 2013 y el obliga a que todas las ciudades de más de 500 mil habitantes deberán contar con un sistema de monitoreo. En Morelia consiste en una estación de captación de PM_{10} , instalada en el centro de la ciudad, por lo que ya se cuentan con datos desde el 2009 y es posible determinar el costo de la contaminación en salud.

1.4.1 Trascendencia del tema

La trascendencia no es solo económica, ya que al estar evaluando los costos en salud podemos aplicar políticas públicas correctivas y preventivas para reducir los índices de contaminación y lograr un bienestar social a través de una mejor calidad de vida; la OMS ha identificado la contaminación del aire-ambiente como una prioridad de salud pública, lo que indica la relación entre la contaminación del aire con mayor mortalidad y menor esperanza de vida. En 2009, la esperanza de vida al nacer en veintisiete países de la Unión Europea fue uno de los más altos del mundo - casi 76 años para los hombres y 82 años para las mujeres (OMS, 2004).

De acuerdo con expertos de la UE, la exposición actual a PM_{10} de fuentes antropogénicas reduce la esperanza de vida media de 8,6 meses en Europa. Se ha estimado que la exposición a las partículas finas en el aire exterior produce 725,000 años de vida perdidos anualmente en Europa (EEA, 2010). Los estudios en los EE.UU. han demostrado que la gente de las ciudades menos contaminadas vive más que la gente que vive en las ciudades más contaminadas (D. Dockery et al., 1993).

Se estima que en la Unión Europea un aumento de $1 \mu g/m^3$ de $PM_{2.5}$ por 1 año implica una pérdida promedio de esperanza de vida de 0,22 días por persona (I. Leksellet al., 2001). Un estudio publicado en 2009, llevado a cabo en 51 áreas metropolitanas de EE.UU entre 1970 a 2000 mostró que la disminución de $10 \mu g/m^3$ en la concentración de las partículas finas se asoció con un aumento estimado de la esperanza de vida media de 0,61 años (Pope CA 3rd et al., 2009).

La exposición a largo plazo a la PM es particularmente dañina para la salud humana y reduce esperanza de vida; es por eso que la reducción de las concentraciones de PM a largo plazo y la exposición es una prioridad (D. Krewskiet al., 2009).

1.4.2 Horizonte temporal y espacial

Este trabajo se elaborará con los datos del año 2010 ya que en ese año se cuenta con la totalidad de datos necesarios para realizar el cálculo; en 2010 se elaboró el censo nacional del

INEGI y es la fuente más confiable próxima sobre las estadísticas de población. De igual manera, la Secretaría de Salud a través del Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE) provee información de ese año sobre la incidencia de enfermedades; el INEGI pero ahora a través del Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos (SIMBAD) nos provee de las muertes totales excluidas las violentas y finalmente a partir de 2009 contamos con información generada por la estación de monitoreo de PM_{10} .

La delimitación espacial será el municipio de Morelia ya que en ningún otro municipio de Michoacán se cuenta con estaciones de monitoreo de PM_{10} .

1.4.3 Viabilidad de la investigación

El contar con fuentes confiables y precisas de información, aunado a un modelo matemático ya probado que es capaz de determinar el índice de incidencia de la contaminación de origen antropogénico en la salud, así como determinar sus costos, nos proporciona una herramienta eficaz y eficiente que garantiza la viabilidad de esta investigación; de igual manera tenemos otros valores que lo sustentan.

Valor teórico: El proyecto propuesto tendrá un gran impacto por la información generada en el área de la salud preventiva, en las ciencias ambientales y el desarrollo sustentable.

Valor práctico: Se propone utilizar los resultados de esta investigación como justificante para diseñar políticas públicas ambientales de monitoreo, prevención y de contención de la contaminación en la ciudad de Morelia.

Relevancia social: Permitirá desarrollar políticas de contención o planeación para la mejora de la calidad del aire con su consecuente impacto en la salud.

1.5 Hipótesis de la investigación

En un proceso de investigación, el planteamiento del problema es la base fundamental que marcará el punto de partida del estudio y que permitirá identificar sus marcos de referencia y teórico-práctico; pero el siguiente paso, tan importante o más que el primero, es que se tiene que establecer una hipótesis que señale integralmente lo que se pretende demostrar.

1.5.1 Hipótesis general

A mayor contaminación antropogénica, existe una elevación de las tasas de mortandad y morbilidad y este costo puede ser calculado.

1.5.2 Hipótesis específicas

La contaminación atmosférica antropogénica incide en el aumento de enfermedades y muertes.

Los costos de morbilidad y mortandad asociadas a la contaminación antropogénica pueden ser calculados.

Capítulo 2

Marco teórico

Contaminación

2.1 Definición

La contaminación ocurre cuando se introducen sustancias ajenas a un medio, provocando que este sea inseguro o no apto para su uso (Merriam-Webster Online Dictionary). El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. Generalmente, es una alteración negativa del estado natural del medio como consecuencia de la actividad humana considerándose una forma de impacto ambiental.

La contaminación puede clasificarse según el tipo de fuente de donde proviene, por la forma del contaminante emitido o según el medio que contamina. Entre los agentes contaminantes, están las sustancias químicas, residuos urbanos, el petróleo, o radiaciones ionizantes. Todos estos pueden producir enfermedades, daños en los ecosistemas o el medioambiente. Además existen muchos contaminantes gaseosos que juegan un papel importante en diferentes fenómenos atmosféricos, como la generación de lluvia ácida, el debilitamiento de la capa de ozono, y el cambio climático.

2.2 Tipos de contaminación

Diferentes tipos de contaminación están clasificados de acuerdo a la parte que afectan ó lo que resulta. Cada uno de estos tipos tiene sus propias causas y consecuencias distintivas. El estudio de la contaminación ambiental ayuda tanto a entender los conceptos básicos con mayor detalle como a producir protocolos para los tipos específicos. En consecuencia, los principales tipos de contaminación son:

2.2.1 Contaminación atmosférica

Es la alteración de la atmósfera por introducción de sustancias químicas y/o partículas, alterando su composición, lo que deriva en un riesgo para la salud humana y de los demás seres vivos (Figura II.1). Entre los gases contaminantes del aire están los producidos a través de la combustión de combustibles fósiles, tanto en automóviles como en la industria, y son el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), los clorofluorocarbonos (CFC) y los óxidos de nitrógeno. El ozono (O₃) y el smog conforman los contaminantes fotoquímicos ya que reaccionan a la luz solar. El material particulado (PM por sus siglas en inglés) o polvo contaminante se mide por su tamaño en micrómetros ó micras, (J, Spedding, 1981).



Figura II.1 Contaminación atmosférica. Aspecto del Distrito Federal, el cual se encuentra entre las ciudades más contaminadas del mundo.

La contaminación atmosférica tiene carácter local cuando los efectos se producen cerca del foco de emisión, o bien, puede tener carácter global, cuando se afecta el equilibrio del planeta al incidir en zonas muy alejadas al foco de emisión; es el caso de la lluvia ácida y el calentamiento global.

2.2.2 Contaminación del suelo

Este tipo de contaminación se da cuando se infiltran productos químicos o biológicos dañinos, sobre o bajo la superficie de la tierra. Entre los principales se encuentran los hidrocarburos, los metales pesados, los herbicidas y plaguicidas, así como los compuestos organoclorados (Myers, 1992).

2.2.3 Contaminación del agua

Ocurre cuando se liberan sustancias contaminantes al drenaje y luego se transportan a ríos y arroyos, terminando por infiltrarse a mantos acuíferos subterráneos o bien a lagos o el mar. También ocurre por descarga directa de basura (como los desechos plásticos que se acumulan en el mar) a los cuerpos de agua y por la acidificación de los océanos provocada por la liberación de CO₂. También ocurre por derrame de sustancias altamente tóxicas en el mar, como el caso de los derrames de petróleo y desechos industriales (Myers, 1992).

2.2.4 Contaminación por basura

Los grandes y cada vez más abundantes vertederos de basura ocasionan tanto contaminación atmosférica como de suelos y agua, ya que los lixiviados de basura son infiltrados a los mantos acuíferos y al suelo, además de que las partículas generadas son arrastradas por el viento dispersándose por la superficie de la tierra.

2.2.5 Contaminación radioactiva

Es resultado de ensayos nucleares a partir del nacimiento de la física atómica a principios del siglo XX. Los desechos radiactivos se producen por el uso de materiales radioactivos pero también cuando ocurren accidentes en plantas nucleares generadoras de electricidad. Los

desechos radiactivos tienen efectos tóxicos aún varias décadas después de haber sido emitidos al medio ambiente.

2.2.6 Contaminación genética

Ocurre cuando especies extrañas invaden a especies nativas o bien, cuando organismos genéticamente modificados (OGM) se mezclan con los no modificados (no-OGM). El resultado es la extinción de especies nativas y de una sobre-resistencia de los OGM a pesticidas y herbicidas, lo que puede generar desastres ecológicos (Adnan, 2010).

2.2.7 Contaminación electromagnética

Se produce por la radiación emitida por equipos electrónicos u otros elementos producto de la actividad humana, como torres de alta tensión y transformadores, antenas de telefonía móvil, electrodomésticos, entre otros. Esta contaminación produce daños que van desde sobrecarga energética de aparatos eléctricos hasta incendios provocados por alta tensión.

2.2.8 Contaminación acústica, visual y luminosa

Estas se deben al nivel de actividades en las grandes urbes. La primera comprende el ruido generado por autos, aviones, industria, entre otros, que ocasionan un alto estrés y reducen la capacidad auditiva del ser humano.

La segunda se refiere a todo aquello que afecta el paisaje urbano o rural, que se ve contaminado por la presencia de carteles, anuncios, cables, etc.

La tercera ocurre por interferencia de luz artificial con la luz desprendida por objetos estelares. Por ello, los observatorios astronómicos se ubican en zonas alejadas de las ciudades.

2.3 Contaminación atmosférica y los principales agentes contaminantes

La contaminación puede tener origen natural o antropogénico. Dentro de los procesos de origen natural se tienen los siguientes:

- Los incendios forestales, que emiten partículas, gases y sustancias que se evaporan en la atmósfera, los llamados Compuestos Orgánicos Volátiles, COVs o VOCs (por sus siglas en inglés Volatile Organic Compounds).
- La erosión del suelo que aumenta los niveles de partículas en suspensión en la atmósfera.
- Las erupciones y emisiones volcánicas que arrojan dióxido de azufre y cantidades importantes de cenizas volcánicas.
- La putrefacción de materia orgánica, que produce metano, el cual daña la capa de ozono. También puede acumularse en el subsuelo en altas concentraciones o mezclado con otros hidrocarburos formando bolsas de gas natural (permafrost).

La contaminación no natural o antropogénica es, como su nombre lo indica, generada por las actividades humanas, y es la que abarca el presente trabajo (Spedding, 1981).

2.3.1 Contaminantes primarios y secundarios

Los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a la atmósfera, como los gases de combustión: dióxido de azufre (SO_2), monóxido de nitrógeno (NO) y monóxido de carbono (CO). Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos que transforman los contaminantes primarios o bien, sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Algunos contaminantes secundarios: el ácido sulfúrico (H_2SO_4 formado por la oxidación del SO_2), el dióxido de nitrógeno (NO_2 , formado al oxidarse el NO) y el ozono, O_3 , que se forma cuando partículas de alta energía reaccionan con el oxígeno O_2 , (Manahan, 2007).

Tanto los contaminantes primarios como los secundarios forman parte del aire de las ciudades, y terminan por depositarse en la superficie de la tierra por diferentes procesos o bien, impactar en bioreceptores, como personas, animales, ecosistemas acuáticos, bosques, etc.

2.3.2 Principales contaminantes atmosféricos (Aránguez *et al.*, 2003)

Ozono (O₃). El ozono a nivel del suelo —que no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera superior— es uno de los principales componentes de la niebla tóxica. Éste se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes de las emisiones de vehículos o la industria y los compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos por los vehículos, los disolventes y la industria. Los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado.

Material particulado (PM, por sus siglas en inglés), se compone de partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5 µm). Las partículas en suspensión comprenden un amplio espectro de sustancias sólidas o líquidas, orgánicas o inorgánicas, dispersas en el aire, procedentes de fuentes naturales y artificiales. Los elementos presentes en las partículas varían según las fuentes locales pero, en general, los principales componentes son carbono, hidrocarburos, material soluble en agua (como el sulfato de amonio), material insoluble que contiene pequeñas cantidades de hierro, plomo, manganeso y otros elementos, así como material biológico (polen, esporas vegetales, virus y bacterias). Según su tamaño las partículas se dividen en gruesas, que incluyen a partículas con diámetro entre 2.5 y 10 micrómetros y finas, que tienen tamaños menores a 2.5 micrómetros.

Monóxido de carbono (CO). Es un gas incoloro, inodoro e insípido, ligeramente menos denso que el aire. En la naturaleza se genera CO en la producción y degradación de la clorofila, mientras que su fuente antrópica se sitúa en las combustiones incompletas, por lo que es emitido casi en su totalidad (98%) por fuentes móviles (principalmente vehículos).

Bióxido de azufre (SO_2). Es un gas incoloro que en altas concentraciones puede ser detectado por su sabor y por su olor cáustico e irritante. Se genera durante la combustión de fósiles (carbón y petróleo) y la fundición de menas que contienen azufre. La principal fuente antrópica del SO_2 es la combustión de fósiles que contienen azufre usados para la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos a motor. Se disuelve con facilidad en el agua para formar ácido sulfuroso (H_2SO_3), el cual se oxida lentamente y forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) con el oxígeno del aire. El SO_2 también puede formar trióxido de azufre (SO_3), vapor muy reactivo que se combina rápidamente con vapor de agua para formar un aerosol ultra fino de ácido sulfúrico, de gran importancia desde el punto de vista de efectos en la salud.

Bióxido de nitrógeno (NO_2). Es la fuente principal de los aerosoles de nitrato, que constituyen una parte importante de las $\text{PM}_{2.5}$ y, en presencia de luz ultravioleta, del ozono. Las principales fuentes de emisiones antropogénicas de NO_2 son los procesos de combustión (calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos y barcos).

Compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos compuestos son motivo de preocupación tanto por su papel como precursores de ozono y otros oxidantes, como por la alta toxicidad de algunos de ellos.

Metano, CH_4 , es un gas que se forma cuando la materia orgánica se descompone en condiciones en que hay escasez de oxígeno, como es el caso de las ciénagas, pantanos y arrozales de las zonas tropicales. También se produce en los procesos de digestión y defecación de los animales herbívoros. Sin embargo, también se emite como gas contaminante producto de la combustión deficiente o incompleta de combustibles fósiles (derivados del petróleo), en autos principalmente.

CAPITULO 3

Enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica antropogénica

y guías de calidad del aire

3.1 Actualidad contaminación-salud

La OMS establece en su nota descriptiva N°313 de Marzo de 2014 que: “La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo”.

Según las últimas estimaciones de la OMS sobre la carga mundial de morbilidad, la contaminación del aire exterior e interior provoca unos siete millones de defunciones prematuras. Esto representa actualmente uno de los mayores riesgos sanitarios mundiales, comparable a los riesgos relacionados con el tabaco, y superado únicamente por los riesgos sanitarios relacionados con la hipertensión y la nutrición.

La OMS en marzo de 2014 estimó que un 80% de las defunciones prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se deben a cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, mientras que un 14% se deben a neumopatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores, y un 6% a cáncer de pulmón.

Una evaluación de 2013 realizada por la Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS determinó que la contaminación del aire exterior es carcinógena para el ser humano, y que las partículas del aire contaminado están estrechamente relacionadas con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. También se ha observado una relación entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de vías urinarias y vejiga.

Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3.7 millones de defunciones prematuras; esta mortalidad se

debe a la exposición a pequeñas partículas de 10 micrones de diámetro (PM_{10}) o menos, que pueden causar cardiopatías, neumopatías y cáncer.

Los habitantes de países de ingresos bajos y medianos sufren desproporcionadamente la carga de morbilidad derivada de la contaminación del aire exterior, lo que se constata por el hecho de que el 88%, de los 3.7 millones de defunciones prematuras, se producen en esos países, y la mayor carga de morbilidad se registra en las regiones del Pacífico Occidental y el Asia Sudoriental de la OMS. Las últimas estimaciones de la carga de morbilidad reflejan el importantísimo papel que cabe a la contaminación del aire en las cardiopatías y las defunciones prematuras; mucho más de lo que creían los científicos anteriormente.

3.1.1 Papel de la OMS

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005 ofrecen orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave para determinar riesgos sanitarios. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM_{10}) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire.

Las directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales concernientes a material particulado (PM), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2), en todas las regiones de la OMS.

Así, la OMS desarrolla y elabora directrices sobre la calidad del aire en las que recomienda límites máximos de exposición a los principales contaminantes del aire. También, realiza evaluaciones sanitarias minuciosas de diferentes tipos de contaminantes atmosféricos, incluidas las partículas, el carbono negro, el ozono, etc.

Para ello, obtiene pruebas científicas relativas a la relación entre la contaminación del aire y determinadas enfermedades, incluidas cardiopatías, neumopatías y cánceres, y realiza

estimaciones de la carga de morbilidad mundial y regional derivada de la exposición actual a la contaminación del aire.

En la serie *Health in the Green Economy*, publicada por la OMS en 2011, se evalúan los beneficios sanitarios asociados a las medidas relativas a mitigación del clima y eficiencia energética que permiten reducir la contaminación del aire derivada de la actividad doméstica, el transporte y otros sectores económicos principales.

En *Measuring health gains from sustainable development*, la OMS en 2012 propuso establecer indicadores de la contaminación del aire que sirvieran de marcadores del progreso hacia los objetivos de desarrollo sostenible en las ciudades y el sector energético.

La OMS presta asistencia a los Estados miembros en relación con el intercambio de información sobre enfoques fructíferos concernientes a métodos de evaluación de la exposición y seguimiento de las consecuencias sanitarias de la contaminación.

El *Programa Paneuropeo de Transporte, Salud y Medio Ambiente* copatrocinado por la OMS ha desarrollado un modelo de cooperación regional y multisectorial entre los Estados Miembros, con el fin de mitigar la contaminación del aire y las consecuencias sanitarias relacionadas con el sector del transporte, y ha elaborado instrumentos de evaluación de los beneficios sanitarios derivados de esas medidas de mitigación.

3.1.2 Principales efectos de los agentes contaminantes atmosféricos y valores de las directrices de la OMS

Material particulado, PM, Las partículas más perjudiciales para la salud son las de 10 micrones de diámetro, o menos (Figura III.1). Las partículas gruesas, como las que generalmente se levantan del suelo, difícilmente penetran hasta los alveolos pulmonares pues, en su mayoría, son retenidas por las mucosas y cilios de la parte superior del aparato respiratorio. En contraste, partículas provenientes de las quemas agrícolas forestales, así como las generadas por la combustión de vehículos a gasolina y diesel son en su mayoría partículas finas que sí penetran

hasta los alveolos pulmonares. Las partículas pueden tener efectos tóxicos debido a sus características físicas o químicas inherentes, o bien pueden afectar de manera indirecta al hombre tanto por la interferencia de mecanismos del aparato respiratorio como por actuar como vehículo de una sustancia tóxica absorbida o adherida a su superficie (Pope *et. al.*, 1993...)

El PM es un contaminante de naturaleza compleja no sólo por sus características físicas (masa, tamaño y densidad), sino también por sus características químicas (contiene compuestos orgánicos e inorgánicos, metales y contaminantes primarios y secundarios). Estas características son críticas para determinar el tipo y magnitud de los efectos sobre la salud humana. La fracción de aerosoles respirables con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 μm (PM_{10}), penetra a diferentes profundidades del sistema respiratorio. Por otro lado, aquellas partículas con diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5 μm son 100% respirables ($\text{PM}_{2.5}$), pudiendo penetrar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio y depositarse en los alvéolos pulmonares (Préndez, 1993). En este contexto, la OMS ha decretado que el PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ es el riesgo para la salud más grave en muchas regiones del mundo (OMS, 2013).

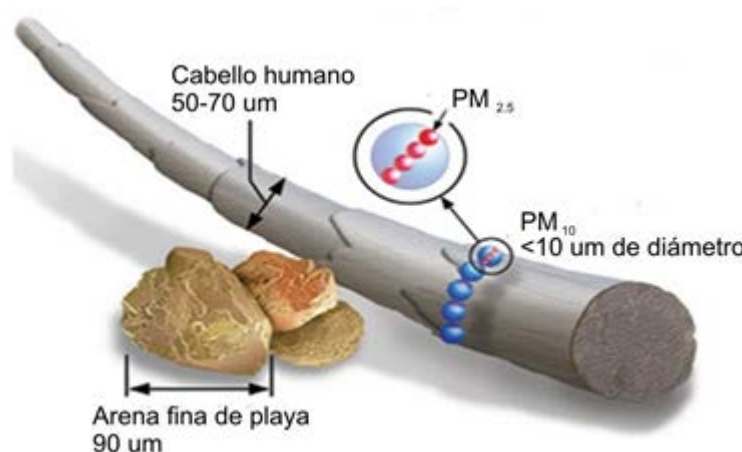


Figura III.1 Partículas menores a 10 micras y a 2.5 micras, lo que se conoce como material particulado PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$.

Existe una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo. A la inversa, cuando las concentraciones de partículas pequeñas y finas son reducidas, la

mortalidad conexas también desciende, en el supuesto de que otros factores se mantengan sin cambios.

La contaminación con partículas conlleva efectos sanitarios incluso en muy bajas concentraciones; de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud. Por consiguiente, los límites de la directriz de 2005 de la OMS se orientan a lograr las concentraciones de partículas más bajas posibles.

Valores fijados en las Directrices

PM_{2.5}

10 µg/m³ de media anual

25 µg/m³ de media en 24 h

PM₁₀

20 µg/m³ de media anual

50 µg/m³ de media en 24 h

Además de los valores, las Directrices sobre la Calidad del Aire establecen metas intermedias para concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} destinadas a promover una reducción gradual, de concentraciones altas a otras más bajas.

Los efectos sanitarios de las partículas provienen de la exposición que actualmente experimentan muchas personas, tanto en las zonas urbanas como rurales, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo, aun cuando la exposición en muchas ciudades en rápido desarrollo suele ser actualmente muchísimo más alta que en ciudades desarrolladas de tamaño comparable.

En las Directrices de la OMS sobre la calidad del aire se estima que una reducción media anual de las concentraciones de partículas PM₁₀ de 70 microgramos/m³, común en muchas ciudades en desarrollo, a 20 microgramos/m³, permitiría reducir el número de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. Sin embargo, incluso en la Unión Europea, donde las concentraciones de PM de muchas ciudades cumplen los niveles

fijados en las Directrices, se estima que la exposición a partículas antropogénicas reduce la esperanza media de vida en 8.6 meses.

En los países en desarrollo, la exposición a contaminantes en el interior de las viviendas como consecuencia del uso de combustibles sólidos en estufas abiertas o cocinas tradicionales incrementa el riesgo de infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores, así como las tasas de mortalidad conexas entre los niños pequeños; la contaminación del aire interior derivada del uso de combustibles sólidos es también un importante factor de riesgo de cardiopatías, neumopatía obstructiva crónica y cáncer de pulmón en los adultos.

Existen graves riesgos sanitarios no sólo por exposición a las partículas, sino también al ozono (O_3), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el dióxido de azufre (SO_2). Como en el caso de las partículas, las concentraciones más elevadas suelen encontrarse en las zonas urbanas de los países de ingresos bajos y medianos. El ozono es un importante factor de mortalidad y morbilidad por asma, mientras que el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre pueden tener influencia en el asma, los síntomas bronquiales, las alveolitis y la insuficiencia respiratoria.

Ozono (O_3)

Valores fijados en las directrices



100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 8 h

El límite recomendado en las directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire, de 2005, se redujo del nivel de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido en ediciones precedentes de esas Directrices 1 y 2, a raíz de pruebas concluyentes sobre la relación entre la mortalidad diaria y concentraciones de ozono inferiores.

Los principales efectos a la salud están asociados con el daño que ocasiona a las células en las vías respiratorias causando, entre otros problemas, inflamación y reducción de la capacidad del aparato respiratorio tanto para combatir infecciones como para remover las partículas externas, por lo que se incrementa la incidencia de infecciones respiratorias, tos, flemas, atrofia

de la mucosa nasal, irritación de ojos, disminución de la función respiratoria y visitas de emergencia por ataques de asma. Otros estudios indican que la exposición al ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar, además de efectos sistémicos en órganos blandos distantes del pulmón, como el hígado. Los efectos observados en seres humanos saludables expuestos a concentraciones urbanas típicas de ozono son un decremento de la capacidad respiratoria, una broncoconstricción moderada y síntomas subjetivos de tos y dolor al inspirar prolongadamente (Cody *et al.*, 1992).

La agencia europea del medio ambiente (EEA) junto con el proyecto APHEA (Agency for Public Health Education Accreditation), han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan un 0.3% y un 0.4% respectivamente con un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de ozono (APHEA, 2006).

Dióxido de nitrógeno (NO_2)

Valores fijados en las Directrices

NO_2

$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual

$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 1 h

El valor actual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (de media anual) fijado en las Directrices de la OMS para proteger a la población de los efectos nocivos para la salud del NO_2 gaseoso no ha cambiado respecto al recomendado en las directrices anteriores.

En concentraciones de corta duración superiores a $200 \text{ mg}/\text{m}^3$, es un gas tóxico que causa una importante inflamación de las vías respiratorias. Estudios epidemiológicos han revelado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en relación con la exposición prolongada a este gas. La disminución del desarrollo de la función pulmonar también se asocia con las concentraciones de NO_2 registradas (u observadas) actualmente en ciudades europeas y norteamericanas.

Dióxido de azufre (SO₂)

Valores fijados en las Directrices

SO₂

20 µg/m³ media en 24 h

500 µg/m³ de media en 10 min

La concentración de SO₂ en períodos promedio de 10 minutos no debería superar los 500 µg/m³. Los estudios indican que un porcentaje de las personas con asma experimenta cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios tras períodos de exposición al SO₂ de tan sólo 10 minutos.

La revisión de la directriz referente a la concentración de SO₂ en 24 horas, que descendió de 125 a 20 µg/m³, se basa en las siguientes consideraciones:

- o Los efectos nocivos sobre la salud están asociados a niveles de SO₂ muy inferiores a los aceptados hasta ahora.
- o Se requiere mayor grado de protección.
- o Pese a las dudas que plantea todavía la causalidad de los efectos de bajas concentraciones de SO₂, es probable que la reducción de las concentraciones disminuya la exposición a otros contaminantes.

El SO₂ puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; asimismo, aumenta la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio (Ware *et al.*, 1981). Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO₂ son más elevados. En combinación con el agua, el SO₂ se convierte en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida que causa la deforestación.

3.1.3 Efectos dañinos de otros agentes contaminantes (Kuenzli, 2000)

Monóxido de carbono, CO. Dado que la afinidad de la hemoglobina por el CO es unas 250 veces mayor que por el oxígeno, el monóxido de carbono se combina con la hemoglobina en los glóbulos rojos de la sangre y forma carboxihemoglobina (COHb) que disminuye la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, además de interferir en su liberación en los tejidos, por lo que produce hipoxia y alteraciones del funcionamiento celular en las neuronas, en las células del corazón y en las de otros músculos. La exposición crónica a CO induce la aparición de fenómenos de aclimatación como el aumento del número de glóbulos rojos, del volumen sanguíneo y el tamaño del corazón.

Compuestos orgánicos volátiles, COV. Debido a su gran variedad, no se conocen completamente sus efectos, sin embargo, para algunos de ellos, como el benceno, se ha reconocido su papel cancerígeno. Cuando las personas se exponen por periodos largos a concentraciones altas de benceno pueden sufrir edemas y hemorragias bronquio-alveolares. Los efectos cardiovasculares producto de los mismos se expresan como extrasístoles o taquicardia ventricular. Los efectos gastrointestinales dependen de la dosis ingerida, pero pueden producir desde gastritis tóxica hasta estenosis pilórica. De los efectos a la salud producidos por los COV, los hematológicos son los más ampliamente documentados, dado que los componentes celulares de la sangre son muy susceptibles a estas sustancias produciendo pancitopenia, anemia aplásica y leucemia.

Metano, CH₄. El metano es un gas de efecto invernadero del planeta Tierra ya que aumenta la capacidad de retención del calor por la atmósfera, sin embargo, seguimos vertiendo indiscriminadamente este gas en la atmósfera (ver Figura III.2).

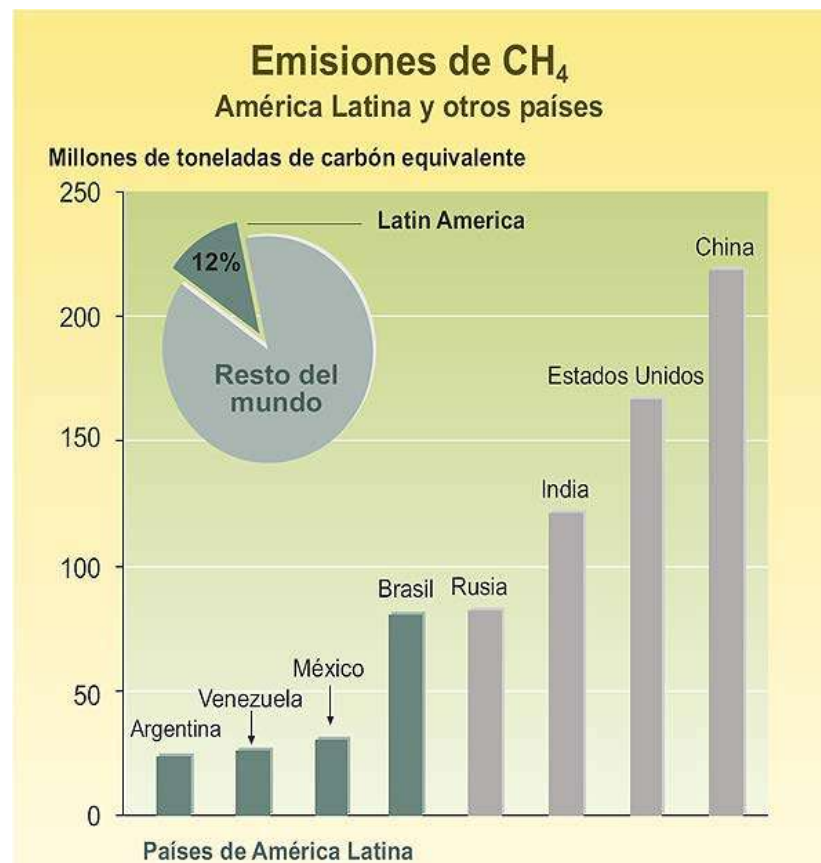


Figura III.2 Desde la era preindustrial, la concentración atmosférica de metano (CH₄) se ha incrementado en un 150%. Fuente: Herramientas de indicadores del análisis climático del instituto de recursos mundiales.

3.2 Proyectos que relacionan contaminación y salud.

La existencia de una relación entre concentración de material particulado, especialmente el PM₁₀, y los efectos nocivos de corto plazo sobre la salud de las personas, ha sido ampliamente estudiada en países desarrollados. Dichos estudios se han centrado, principalmente, en la relación de corto plazo (diaria) entre las concentraciones de PM₁₀ y otros contaminantes, con mortalidad y morbilidad por causas respiratorias y cardiovasculares. Los hallazgos confirman una relación positiva y significativa entre estas variables, indicando además, que el aumento de riesgo de mortalidad ante incrementos de PM₁₀ de 100 µg/m³ sería del orden de 3 a 15%, dependiendo de la ciudad estudiada.

Uno de los proyectos centrados en este tema es el llamado Aphea (Air Pollution and Health), que fue un sistema de vigilancia de salud pública que se implementó con el objetivo de proporcionar a los profesionales de salud ambiental europea, y los tomadores de decisiones a nivel local, regional y nacional, así como al público en general, información actualizada y accesible sobre la contaminación del aire y la salud pública. Este proyecto fue implementado en 19 ciudades de países del este y oeste de Europa (Katsouyanniet *al.*, 1995).

Se analizaron los efectos agudos y crónicos de las partículas finas en la mortalidad prematura para diferentes escenarios en los beneficios de la reducción de los niveles de partículas de menos de 10 μm de tamaño (PM_{10}). Las concentraciones de PM_{10} medidas en 19 ciudades estuvieron en el rango 14–73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La población cubierta en esta evaluación del impacto sanitario incluye casi 32 millones de habitantes. Las tasas de mortalidad estandarizadas por edad (por cada 100 000 personas) van desde 456 en Toulouse a 1127 en Bucarest. La reducción de la exposición a largo plazo a concentraciones de PM_{10} en 5 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ habría " impedido " entre 3,300 y 7,700 muertes prematuras al año, de 500 a 1000 de los cuales están asociados con la exposición a corto plazo.

Aphea mostró que los niveles de contaminación atmosférica en la Europa urbana tienen un impacto no despreciable en la salud pública, y que las medidas preventivas podrían reducir este impacto, incluso en ciudades con bajos niveles de contaminación del aire.

Otro proyecto importante fue el de la red Aphekom (Aphekom: Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe), cuyos objetivos fueron elaborar y difundir información sobre el impacto, sanitario y económico, de la contaminación atmosférica en 25 ciudades europeas (Figura III.3) para ayudar en la toma de decisiones para disminuir los niveles de contaminación así como su impacto sobre la salud y el bienestar de los ciudadanos (Aphekom, 2013).



Figura III.3 En el proyecto Aphekon participaron 25 ciudades, 12 países, 39 millones de habitantes.

En este proyecto se cuantificó el número esperado de personas con un efecto en salud que pudiera ser atribuido a una situación específica de exposición. De los resultados obtenidos se dedujo que el impacto mayor en salud (mortalidad prematura) se debe a la exposición crónica a $PM_{2.5}$. El beneficio económico asociado a reducción de la mortalidad se estimó en más de 30,000 millones de euros al año para el conjunto de las 25 ciudades europeas. Finalmente, los resultados de Aphekom aportaron argumentos para la revisión de los valores límite vigentes en la UE, así como una mejora en la vigilancia de las partículas finas ($PM_{2.5}$).

Capítulo 4

Gestión ambiental

4.1 Políticas públicas

Las políticas públicas se componen de un curso de acción y flujo de información relacionado con un objetivo público, definido en forma democrática, y son desarrolladas por el sector público, y frecuentemente con la participación del sector privado (Lahera E., 2004). La política ambiental es el conjunto de los esfuerzos políticos para conservar las bases naturales de la vida humana y conseguir un desarrollo sostenible. Desde los años 70, con la conciencia ambiental creciente, se ha convertido en un sector político autónomo cada vez más importante tanto a nivel regional y nacional como internacional.

La elaboración de las políticas públicas y su planificación ha sido poco observada si se le compara con otros procesos sociopolíticos; su desarrollo teórico ha sido escaso, ya que se ha estudiado más la política, la formación, estructura y funcionamiento del sistema político, sus partidos, el proceso electoral, la cultura política, la institucionalidad y la toma de decisiones, que las políticas y su elaboración (Aguilar V., 1996).

En este sentido, Downs (1993) señala que la atención a los problemas públicos y las hechas de las políticas obedecen a un ciclo que inicia cuando surge un determinado problema, su descubrimiento alarmante y el entusiasmo por atenderlo generalmente durante un periodo corto, seguido del descenso de interés público y su desaparición paulatina, muchas veces sin solucionarse. Tal situación en materia ambiental es importante, ya que habría que preguntarse si la problemática seguirá el ciclo y durante cuánto tiempo en cada etapa, sugiriéndose evitar su desatención y la necesidad de actuar rápido y de manera colectiva.

4.2 Primeras leyes en materia ambiental.

El tema de la contaminación toma relevancia tras la segunda Guerra Mundial, cuando se comienzan a ver los efectos de la radiación, debido a las guerras y pruebas nucleares. En 1952, ocurrió un evento que mató a alrededor de 4000 personas en Londres, conocido como La Gran Niebla; este impulsó una de las leyes importantes sobre Medio Ambiente, conocida como La Ley del Aire Limpio de 1956 (Urbinato, 1994).

En los Estados Unidos, es a partir de la década de 1950 que la contaminación comienza a ser un tema relevante. Hasta 1970 se habían promulgado: la Ley del Aire Limpio, la Ley del Agua Limpia, la Ley de Política Ambiental de los Estados Unidos y la Ley del Ruido.

Algunos sucesos que impulsaron Leyes ambientales fueron, en Estados Unidos: el vertido de bifenilospoliclorados (PCB) en el río Hudson por parte de la compañía General Electric, dando como resultado el establecimiento de una serie de prohibiciones emitidas en 1974 por la EPA, como la pesca en sus aguas. Otro evento fue la construcción del conjunto residencial Love Canal en Niagara Falls, sobre un terreno en el cual la empresa *Hooker Chemical and Plastics Corporation* había enterrado en 1947 residuos químicos y dioxinas, que posteriormente ocasionaron la filtración a la superficie de agua contaminada con materiales cancerígenos disueltos, promoviendo la creación en 1980 de la Ley de Superfondo, que incluye una lista de los agentes contaminantes más peligrosos.

Los procedimientos penales de la década de los noventa que revelaron emisiones en California de cromo hexavalente (sustancia química que aumenta el riesgo de cáncer bronquial, entre otros padecimientos), ayudaron a la creación del término zona industrial abandonada, para identificar los sitios contaminados y que no pueden ser usados para ningún propósito. Después de la publicación del libro *Primavera silenciosa* de Rachel Carson, el DDT fue prohibido en la mayor parte de países desarrollados.

Con el desarrollo de la ciencia nuclear apareció la contaminación radioactiva, la cual puede permanecer en el ambiente de manera letal por millones de años.

Los países dedicados a la experimentación y fabricación de armas nucleares producen desechos militares radioactivos, y en varios casos, el no haberlos depositado en lugares seguros ha causado desastres ecológicos. En las décadas de 1950 y 1960, cuando aún existía la Unión Soviética, los desechos radioactivos producidos por la instalación nuclear Mayak fueron arrojados en el lago Karachai y en el río Techa, ocasionando casos de leucemia en la población y afectando directamente a la provincia de Cheliábinsk. De acuerdo con el Worldwatch Institute, el lago Karachai era el sitio «más contaminado de la Tierra» (WISE News, 1990).

En la Guerra Fría se realizaron ensayos con armas nucleares, algunas veces cerca de zonas habitadas y con mayor frecuencia durante las primeras etapas de investigación y desarrollo armamentístico. El impacto negativo que ha tenido la contaminación nuclear sobre las poblaciones, y el progresivo entendimiento de los efectos de la radioactividad en la salud humana, son también algunas de las dificultades que complican el uso de la energía nuclear. La posibilidad de que ocurra una catástrofe como en Chernóbil hace desconfiar a la población.

4.3 Políticas públicas ambientales

Un aspecto fundamental debe integrar y jerarquizar factores que redunden en una gestión capaz de provocar un cambio de signo en los procesos ambientales deteriorantes: la forma en que se generan las políticas ambientales públicas derivadas de la aplicación de la legislación vigente y de los programas de gobierno.

Hasta ahora no se ha reconocido debidamente la importancia de este factor para impulsar la incorporación del tema ambiental. Las políticas son el conjunto de objetivos, principios, criterios y orientaciones generales para la protección del ambiente de una sociedad particular. En este sentido, constituyen las visiones estratégicas, las visiones comunes y compartidas de corto, mediano y largo plazo, orientadas a garantizar la sustentabilidad del desarrollo (Desco, 2008).

4.3.1 Medidas generales para reducir la contaminación del aire

La OMS en 2013 nos proporciona algunos ejemplos de políticas relativas a los sectores de transporte, planificación urbana, generación de electricidad e industria, que permiten reducir la contaminación del aire y que son los siguientes:

- **Industria:** Se promueve la utilización de tecnologías limpias que reduzcan las emisiones de chimeneas industriales; se promueve asimismo la gestión de desechos urbanos y agrícolas, incluida la recuperación del gas metano de los vertederos como una alternativa a la incineración.
- **Transporte:** Se recomienda la adopción de métodos limpios de generación de electricidad, así como priorizar el transporte urbano, las sendas peatonales y de bicicletas en las ciudades; además, se promueve la utilización de vehículos pesados de motor diésel más limpios y vehículos y combustibles de bajas emisiones, especialmente con bajo contenido de azufre.
- **Planificación urbana:** se ha logrado un mejoramiento de la eficiencia energética de los edificios y concentración de las ciudades para lograr una mayor eficiencia.
- **Generación de electricidad:** Se ha promovido el uso de combustibles de bajas emisiones y fuentes de energía renovable sin combustión (solar, eólica o hidroeléctrica), la generación conjunta de calor y electricidad, y la generación distribuida de energía (por ejemplo, generación de electricidad mediante paneles solares).
- **Gestión de desechos municipales y agrícolas:** Se han implementado estrategias de reducción, separación, reciclado y reutilización o reelaboración de desechos, así como métodos mejorados de gestión biológica de desechos tales como la digestión anaeróbica para producir biogas, mediante métodos viables y alternativas económicas en sustitución de la incineración de desechos sólidos. En casos en que la

incineración sea inevitable, será crucial la utilización de tecnologías de combustión con rigurosos controles de emisión.

4.3.2 Papel de la OMS en el diseño de políticas públicas ambientales

Según la OMS, cada año se producen más de 2 millones de muertes prematuras atribuibles a los efectos de la contaminación atmosférica urbana y de la contaminación del aire de interiores (causada por la utilización de combustibles sólidos). Más de la mitad de esa carga recae sobre la población de los países en desarrollo.

La OMS publicó directrices sobre la calidad del aire en 1987 y las revisó en 1997. Desde la publicación de la segunda edición de las Guías de calidad del aire para Europa se publicaron numerosos estudios científicos sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud, y en particular nuevas investigaciones importantes sobre los países de ingresos bajos y medianos, donde los niveles de contaminación atmosférica han alcanzado su nivel más alto.

En consecuencia, la OMS analizó las pruebas científicas acumuladas desde entonces y de sus repercusiones en las directrices sobre la calidad del aire. El resultado fue la revisión de los valores de determinados contaminantes atmosféricos que se han actualizado y son aplicables a todas las regiones de la OMS (2005).

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire ofrecen una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, así como de los niveles de contaminación perjudiciales para la salud.

De acuerdo a la OMS, según datos de marzo de 2014, en lo que se refiere a Calidad del aire (exterior) y salud:

Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.

Cuanto más bajos sean los niveles de contaminación del aire, mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo.

Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3,7 millones de defunciones prematuras. Un 88% de esas defunciones prematuras se producen en países de ingresos bajos y medianos, y las mayores tasas de morbilidad se registran en las regiones del Pacífico Occidental y Asia Sudoriental de la OMS.

Las políticas y las inversiones de apoyo a medios de transporte menos contaminantes, viviendas energéticamente eficientes, generación de electricidad y mejor gestión de residuos industriales y municipales permitirían reducir importantes fuentes de contaminación del aire en las ciudades.

La reducción de las emisiones domésticas derivadas de sistemas energéticos basados en el carbón y la biomasa, así como de la incineración de desechos agrícolas (por ejemplo, la producción de carbón vegetal), permitiría limitar importantes fuentes de contaminación del aire en zonas periurbanas y rurales de las regiones en desarrollo.

La disminución de la contaminación del aire reduce las emisiones de CO₂ y de contaminantes de corta vida tales como las partículas de carbono negro y el metano, y de ese modo contribuye a mitigar el cambio climático a corto y largo plazo.

Además de la contaminación del aire exterior, el humo en interiores representa un grave riesgo sanitario para unos 3.000 millones de personas que cocinan y calientan sus hogares con combustibles de biomasa y carbón.

4.4 Gestión ambiental del aire

Del latín *gestio*, el concepto de gestión hace referencia a la acción y a la consecuencia de administrar o gestionar algo. Al respecto, hay que decir que gestionar es llevar a cabo diligencias que hacen posible la realización de una operación comercial o de un anhelo cualquiera.

Administrar, por otra parte, abarca las ideas de gobernar, disponer dirigir, ordenar u organizar una determinada cosa o situación.

En la definición del instituto de desarrollo urbano “Es un conjunto de actividades, normas e instrumentos para la planeación, gestión, ejecución y supervisión de obras en el espacio público, con el objeto de mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales negativos y potenciar los impactos ambientales positivos generados por las obras en el medio ambiente urbano.

Gestión ambiental abarca el grupo de tareas enfocadas al control del sistema ambiental en base al desarrollo sostenible. La gestión ambiental es una táctica por medio de la cual se establecen acciones de perfil antrópico que influyen sobre el ambiente a fin de conseguir una calidad de vida óptima.”

4.4.1 Establecimiento de una red de monitoreo ambiental

Para la gestión ambiental en el componente aire se establecen estaciones de monitoreo de la calidad del Aire ubicando estaciones con representatividad poblacional EMRP, las cuales deben estar ubicadas dentro de un área urbana mínima de 2 km de diámetro para que sea representativa.

La red de monitoreo debe estar mínimamente sustentada por un equipo tripartito de Aseguramiento de la Calidad, una unidad de Control de Calidad y una unidad de distribución de la información.

El Aseguramiento de la Calidad tiene por misión soportar la unidad de monitoreo con recursos, la unidad de Control tiene por misión la trazabilidad, la calibración y el cruzamiento de resultados entre sus equipos y otros de referencia. Se debe detectar los corrimientos del valor cero, la saturación de los monitores, fuentes de emisión imprevistas no-comunes y focalizadas, cortes de energía eléctrica y aquellos valores escapados que induzcan a un mal pronóstico de Emergencia Ambiental.

La unidad informativa tiene por misión dar disponibilidad y análisis de la información confeccionando modelos informativos de contaminación del componente aire.

4.4.2 Modelamiento atmosférico-climático y diseño de un modelo de contaminación atmosférica

Para seleccionar los lugares más apropiados con los objetivos propuestos del monitoreo, es necesario manejar información que incluya, entre otros factores:

- a) Ubicación de fuentes emisoras en coordenadas geográficas denotadas en un sistema de información geográfica (SIG).
- b) Variabilidad geográfica o distribución espacial de las concentraciones del contaminante, ciclos horarios del contaminante, transporte, procesos formativos del contaminante.
- c) Condiciones meteorológicas y climáticas, régimen de vientos, modelamiento climático y atmosférico, pluviometría, temperaturas diarias, estacionales y/o con influencia de fenómenos climáticos, radiación solar, humedad relativa, topografía.
- d) Densidad de la población, así como ubicación, extensión y composición de los recursos que se desea preservar. Adicionalmente biotopos a preservar, catastro de la fauna y flora exótica y endémica.
- e) Inventario de las fuentes de emisión, fijas y móviles.
- f) Identificación de zonas latentes y saturadas.
- g) Quemadas de pastizales autorizadas o ilegales.

Estos puntos conducen a establecer modelos de contaminación atmosféricos y evaluación de la calidad del aire.

4.5 Normas oficiales que regulan las emisiones contaminantes

4.5.1 Normas oficiales que regulan Europa

La Directiva 2001/81/ CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, del 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos, tiene como objeto limitar las emisiones de contaminantes para reforzar la protección del medio ambiente y de la salud humana y avanzar hacia el objetivo de no superar los niveles críticos de contaminantes y de proteger de forma eficaz a toda la población frente a los riesgos para la salud que se derivan de la contaminación atmosférica mediante la fijación de techos nacionales de emisión.

El programa *Aire puro para Europa* es una estrategia de lucha contra la contaminación atmosférica y sus efectos. Este programa ha sido elaborado por el Sexto programa de Acción en Materia de Medio Ambiente recientemente aprobada por la Comisión (COM 2001). Esta estrategia consiste en evaluar la aplicación de las directivas relativas a la calidad del aire y la eficacia de los programas sobre calidad del aire en los Estados miembros. Además pretende mejorar el control de la calidad del aire y la divulgación de la información al público mediante la utilización de indicadores. Finalmente se establecen prioridades para la adopción de nuevas medidas, examinando y actualizando los umbrales de calidad del aire y los límites máximos nacionales de emisión. Recoge múltiples y variados objetivos con el fin de mejorar la calidad de vida de las poblaciones de Europa, prevenir las enfermedades y proteger el medio ambiente.

Como medida para instar al cumplimiento de los techos, la directiva obliga a los Estados miembros a elaborar programas nacionales de reducción progresiva de las emisiones. España ha elaborado mediante el Acuerdo de Consejo de Ministros de 7 de diciembre el II Programa

Nacional de Reducción de Emisiones (Resolución de 14 de enero de 2008, de la Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático. (BOE n.º 25, 29.01.08).

Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. ORDEN MAM/1444/2006, de 9 de mayo.

Establece las bases en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica con el fin de evitar y cuando esto no sea posible, aminorar los daños que de ésta puedan derivarse para las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza.

El objetivo general de dicha ley es desarrollar una política estratégica integrada a largo plazo para proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos de la contaminación atmosférica. De acuerdo con el tratado, esta política tendrá por objetivo garantizar un elevado nivel de protección del medio ambiente sobre la base del principio de cautela, tomando los mejores datos científicos y técnicos disponibles y las ventajas y cargas que puedan resultar de la acción o de la falta de acción

La ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental incorpora a nuestro ordenamiento jurídico un régimen administrativo de responsabilidad ambiental de carácter objetivo e ilimitado basado en los principios de prevención y de que “quien contamina paga”. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

4.5.2 Normas oficiales mexicanas y sistemas de monitoreo de la calidad del aire en México

La contaminación atmosférica, más que un tema de moda, es un problema que está en la agenda nacional desde hace décadas; ya en 1988 se hace un primer intento de monitoreo, prevención y contención al promulgar el gobierno federal la “Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente” (LGEEPA), que entre sus artículos determina la obligatoriedad de contar en todo municipio con monitores de la calidad de aire así como la identificación de sus fuentes de origen. Como normas derivadas de esta ley tenemos el programa “hoy no circula” y el cierre posterior de la refinería en la Cd. de México.

De acuerdo con la Norma NOM-156-SEMARNAT-2012 “Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire”, todas las ciudades con más de 500,000 habitantes deberán contar con un sistema de monitoreo. En México, son 34 ciudades las que deben llevar a cabo este monitoreo de manera permanente, entre ellas la ciudad de Morelia.

Ciudades como Monterrey, Querétaro, Puebla, por mencionar algunas, han adoptado programas para el monitoreo atmosférico que son coordinados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), organismo dependiente de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y publicados por el Sistema Nacional para la Información de la Calidad del Aire (SINAICA).

En Morelia, El H. Ayuntamiento, SUMA del Gobierno del Estado de Michoacán y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) establecieron en el año 2006 el Programa de Monitoreo Atmosférico para la Capital del Estado, con la finalidad de tener informada a la población sobre la calidad del aire que se respira en nuestra ciudad (Figura IV.1). Dicho programa, a la fecha, no brinda información alguna pese a que el gobierno del estado en su página oficial nos menciona que actualmente opera una estación de monitoreo en el Centro Histórico de Morelia, cuyos reportes de la calidad del aire pueden ser consultados por la ciudadanía, a través de los diversos portales de instituciones como la UMSNH (Facultad de Biología, Ing. Química, Ing. Mecánica, Instituto de investigaciones sobre los recursos naturales), H. Ayuntamiento de Morelia y SUMA, y en ninguna de ellas se muestran resultados. De igual manera la página de SINAICA nos dice que la caseta de monitoreo está ubicada en la azotea de

Palacio Municipal, y mide monóxido de carbono (CO); dióxido de azufre (SO₂); ozono (O₃); dióxido de nitrógeno (NO₂); partículas suspendidas PM₁₀, y las variables meteorológicas; velocidad y dirección del viento (WS, WD) y temperatura (TMP). Al igual que en varias ciudades del país, en Morelia la calidad del aire se reporta en puntos IMECA, debido a que es el índice oficial de contaminación en México.



Figura IV.1 Estación de monitoreo de la ciudad de Morelia, Michoacán.

Capítulo 5

El costo de la contaminación atmosférica en Morelia

5.1 Introducción

En la última década, la evidencia de que los contaminantes atmosféricos tienen efectos adversos en la salud humana, ha aumentado enormemente. Un número creciente de estudios epidemiológicos, tales como el Apheis (public health impact of PM₁₀ in 19 European cities) y el APHEA, (Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data) han permitido elaborar índices de riesgos que relacionan los cambios en la concentración de este tipo de contaminantes con efectos en la salud.

La Maestra Masse consultora de IMCO declaró que en México (en el Valle de México) el Instituto Mexicano de Competitividad llevó a cabo este mismo estudio y durante 5 años relacionó los niveles de contaminación con las enfermedades y muerte asociadas a esta; como resultado, se observó que los índices de relación eran los mismos que los estudios europeos. Se eligió el Valle de México ya que es el único que cuenta con una red de monitoreo ambiental de la calidad del aire y también es el único que cuenta con la información concentrada de la incidencia en enfermedades y muerte. (F. Masse, comunicación personal, 15 feb 2015).

Por otra parte, el INECC nos menciona que los estudios toxicológicos y de laboratorio han sustentado la causalidad en muchas de estas relaciones, demostrando los efectos nocivos de contaminantes en cultivos celulares y animales de laboratorio. El incremento en enfermedades cardiovasculares y respiratorias, en mortalidad, en el uso de servicios médicos y en días de productividad perdidos son algunos de los efectos que se han asociado con la contaminación atmosférica. Estos impactos no sólo disminuyen la calidad de vida, sino que también tienen repercusiones económicas tanto para el individuo como para la sociedad.

Ante la acumulación de evidencia, las autoridades se han visto obligadas a tomar decisiones y a formular estrategias que protejan a la población contra los efectos dañinos de la

contaminación. Para facilitar la toma de decisiones, el establecimiento de normas y la evaluación de estrategias, es necesario que la información científica se traduzca en evidencia que de sustento a dichas acciones de manera clara y sencilla. Para lograr esto, existen ciertas metodologías capaces de caracterizar los riesgos, como el caso del análisis de riesgos ambientales, y de estimar daños en salud debidos a la contaminación, como el caso de la evaluación de impactos en salud (EIS).

Este tipo de análisis y evaluaciones comparten algunos conceptos básicos, herramientas y procesos, aunque difieren un poco en cuanto a sus objetivos y la forma en que contribuyen a los procesos de toma de decisiones. El análisis de riesgos tiene por objeto definir los efectos en salud causados por la exposición a contaminantes de manera general, ayudando a que los recursos económicos y humanos sean priorizados y las medidas de control se enfoquen a los riesgos más significativos (INE-SEMARNAT, 2003).

Este tema ha sido tratado en el libro “Introducción al análisis de riesgos ambientales” editado por el Instituto Nacional de Ecología, sirviendo como marco general o introducción al tema. Por otro lado, las evaluaciones de impactos en salud, apoyan la elaboración de política ambiental al integrar información de diferentes disciplinas con el objeto de cuantificar la carga de mortalidad prematura y morbilidad asociada con medidas de control específicas. Es decir, la EIS permite estimar el número de casos dentro de la población expuesta, durante un tiempo específico, asociados con un cambio en la concentración de contaminantes a raíz de la implementación de una medida de control (INECC, 2007).

Así, los resultados de la EIS se dan en función del número de casos de diversos efectos en salud que se pueden atribuir al incremento o decremento en la concentración ambiental de un contaminante; en este caso, las partículas PM_{10} .

5.2 Sintomatología y efectos generados por la contaminación del aire

Los contaminantes del aire tienen distinto potencial para producir daños sobre la salud humana, dependiendo del tipo de contaminante, de las propiedades físicas y químicas de sus componentes, la frecuencia, duración de exposición y su concentración, entre otros factores. De manera genérica se establece que la capacidad de un contaminante para producir un efecto en la salud depende fundamentalmente de dos factores:

- 1) la magnitud de la exposición y
- 2) la vulnerabilidad de las personas expuestas.

La magnitud de la exposición está en función de la concentración del contaminante en la atmósfera, de la duración de la exposición y de su frecuencia. La vulnerabilidad de las personas expuestas es significativamente diferente; algunos grupos de población son más sensibles o vulnerables que otros a la contaminación del aire, lo cual obedece a factores intrínsecos, como la genética, etnia, género y edad; también obedece a factores adquiridos como las condiciones médicas, acceso a los servicios de salud y nutrición.

Los efectos en la salud pueden clasificarse en efectos agudos y, efectos crónicos sin la inclusión de cáncer y efectos cancerígenos (Kampa y Castanas, 2008).

La exposición aguda se presenta a concentraciones elevadas de contaminantes en corto tiempo, que logran ocasionar daños sistémicos al cuerpo humano. Los efectos atribuibles a la exposición aguda varían ampliamente. Algunos estudios señalan un incremento en la mortalidad debido a complicaciones respiratorias relacionadas con la exposición a partículas de diámetro pequeño, ozono y sulfatos; otros estudios informan acerca de enfermedades cardiovasculares, lo cual se considera un efecto indirecto de la contaminación. La exposición aguda también se relaciona con enfermedades de vías respiratorias superiores e inferiores: bronquitis, neumonía y tos, entre otras (Riojas *et al.*, 2009).

Por otra parte, la exposición crónica implica concentraciones bajas de contaminantes en largos periodos. Esta exposición a pesar de que sea a niveles bajos, puede afectar a las personas con una predisposición genética o con algún problema de salud preexistente. Los efectos a la salud son similares a los mencionados por una exposición aguda. Existen informes del incremento de la mortalidad en relación con exposición crónica, aunque en la mayoría de los casos se trata de adultos con problemas respiratorios y cardiovasculares degenerativos (Cesar *et al.*, 2001).

Los resultados obtenidos en los proyectos Alphea y Apheis en Europa y el realizado por el IMCO en México, demuestran que la exposición aguda y crónica a la contaminación del aire se asocia con el incremento de la mortalidad y morbilidad debido a diferentes causas: *por problemas cardiovasculares y respiratorios*.

Las exposiciones a la contaminación del aire durante el embarazo y durante los períodos tempranos de la vida se han asociado con nacimiento prematuro, retraso en el crecimiento intrauterino, bajo peso al nacer, síndrome de muerte temprana y mortalidad infantil (Curtis *et al.*, 2006; Kampa y Castanas, 2008; Lacasana *et al.*, 2005; Maisonet *et al.*, 2004; Wigle *et al.*, 2007), así como efectos en la salud de grupos vulnerables como niños asmáticos en la ZMVM (Barraza *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2009; Rojas *et al.*, 2007; Romieu *et al.*, 2008).

Los síntomas por exposición a la contaminación del aire se manifiestan principalmente en la disminución de la capacidad respiratoria, incremento en la frecuencia de enfermedades respiratorias crónicas y agudas, aumento de ataques de asma e incremento de casos de enfermedades cardíacas. Esto se debe a que los pulmones son el órgano de choque para todos los contaminantes del aire. Cuando las células de las vías aéreas del pulmón se inflaman, se reduce la habilidad del sistema respiratorio para combatir infecciones y eliminar partículas extrañas, lo que aumenta el riesgo en la salud de las personas que padecen, por ejemplo, asma, enfisema pulmonar o bronquitis crónica.

La siguiente tabla (Tabla V.1) fue elaborada por el IMCO con datos obtenidos en el análisis de la exposición de la población en general en el Valle de México a contaminantes

atmosféricos antropogénicos y su incidencia en las enfermedades y muerte asociadas a esta por cada incremento en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} .

Tabla V.1. Funciones exposición-respuesta para la población general por exposición a PM_{10} .

Indicadores	% de cambio por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . Promedio diario.
Admisión en hospitales	
Respiratoria	1.39
Cardio-cerebrovascular	0.60
Falla congestiva del corazón	1.22
Visitas a la sala de emergencia	
Respiratoria	3.11
Días de actividad restringida	
Total (adultos)	7.74
Días laborales perdidos (adultos)	7.74
Total (niños)	7.74
Días laborales perdidos de mujeres	7.74
Días de actividad restringida menor	
Total (adultos)	4.92
Efectos en Asmáticos	
Ataques de asma	7.74
Tos sin flema (niños)	4.54
Tos con flema (niños)	3.32
Tos con flema y uso de bronquio dilatador	10.22
Síntomas respiratorios	
Síntomas en vías respiratorias superiores	4.39
Síntomas en vías respiratorias inferiores	6.85
Bronquitis aguda	11.0
Morbilidad crónica	
Bronquitis crónica, casos adicionales	3.60
Tos crónica, prevalencia (niños)	0.30
Mortalidad por medición longitudinal	
Total	3.84
Mortalidad por medición transversal	
Total	1.01
Infantil	3.52

Fuente: Cesar *et al.*, 2000.

En la tabla aparecen los incrementos porcentuales observados en diversos indicadores, como admisiones hospitalarias, días de actividad restringida o sintomatología diversa, ante aumentos en las concentraciones de PM_{10} .

En especial resulta preocupante, los impactos de las partículas sobre la tasa de mortalidad de la población.

5.2.1 Efectos de las partículas sobre la salud

El grado de toxicidad de las PM, dependen por un lado de su composición química y por lo tanto de la fuente de emisión, y por otro lado del tamaño, ya que éste determina qué tanto penetrarán al árbol bronquial (Quénel *et al.*, 2003). Las partículas mayores a PM₁₀ son filtradas por la nariz y son tragadas, las partículas menores o iguales a PM₁₀ se depositan principalmente en la tráquea y los bronquios y alteran la respuesta inflamatoria alveolar regulada por los macrófagos ante el virus sincitial respiratorio, una causa frecuente de pulmonía viral en los niños (Romieu y Korc, 2002). Las partículas menores a 3 micrómetros llegan en gran cantidad a los alvéolos (Quénel *et al.*, 2003). Las partículas que penetran al epitelio alveolar inician un proceso de inflamación pulmonar, se presentan igualmente cambios inflamatorios sistémicos afectando la coagulación de la sangre, lo cual puede obstruir los vasos sanguíneos, provocando angina o hasta infarto al miocardio (Kampa y Castanas, 2008).

5.3 Partículas PM₁₀

Las PM se han asociado al aumento de síntomas de enfermedades respiratorias, la reducción de la función pulmonar, el agravamiento del asma y con muertes prematuras por afecciones respiratorias y cardiovasculares (WHO, 2001), la mortalidad infantil (APHEIS, 2002) y el ausentismo escolar en niños (CAM, 2002).

En este sentido, la bibliografía indica que los mecanismos propuestos mediante los cuales algunos contaminantes, entre ellos las partículas respirables, provocan efectos cardiovasculares, como la insuficiencia, son los siguientes (Riojas *et al.*, 2006):

- Alteraciones en los canales de calcio de los miocardiocitos.

- Isquemia miocárdica, ya que el incremento en los aerosoles ácidos irrita las vías respiratorias y provoca broncoespasmo agudo, edema pulmonar, hipoxemia e incremento en la demanda de oxígeno.
- Inflamación y disfunción endotelial.
- Alteraciones en el sistema nervioso autónomo.

5.4 Determinación del impacto económico

A fin de poder determinar el costo que implica la contaminación antropogénica en el municipio de Morelia, se ha tomado como herramienta la calculadora que el IMCO desarrolló para cuantificar los costos que genera la mala calidad del aire en las ciudades mexicanas. El principal objetivo de esta herramienta es contribuir, con base en evidencia sólida, al debate sobre la urgencia de impulsar políticas públicas para mejorar la calidad del aire en las ciudades de nuestro país.

El objetivo del estudio se centra en los daños a la salud de los habitantes, así como en los costos económicos asociados para el sistema de salud y la pérdida de productividad de los trabajadores; también los costos generados en hospitales y consultas particulares. La perspectiva de IMCO es que dichos impactos limitan la competitividad de las ciudades, pues afectan la calidad de vida de los ciudadanos, ahuyentan al talento y, por tanto, pueden incluso limitar la llegada de nuevas inversiones.

Otras instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Instituto de Métricas de Salud y Evaluación (IHME) de la Universidad de Washington y el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), han cuantificado los impactos en salud atribuibles a la contaminación del aire (IMCO, 2013).

5.4.1 Tamaño de la muestra

De acuerdo con la NOM-156-SEMARNAT-2012 “Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire”, que entró en vigor en julio de este año, todas las ciudades de la muestra deberán contar con un sistema de monitoreo. De la estación de monitoreo ubicada en la azotea del palacio municipal se tomaron 4845 datos correspondientes al año 2009 sobre los niveles de concentración de las partículas PM_{10} .

5.4.2 Fuentes y datos.

Las Tablas V.2 muestran las variables en las que se basa este estudio, así como sus respectivas fuentes y año de observación.

Tabla V.2. Variables

Variable	Fuente	Año
Población	INEGI Censo 2010	2010
Concentración promedio anual de PM_{10}	Estación de monitoreo atmosférico Palacio Municipal Morelia Michoacán.	2010
Muertes totales (excluyendo accidentales y violentas)	INEGI Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos (SIMBAD) 2010	2010
Egresos hospitalarios por infecciones y enfermedades respiratorias y enfermedades cardiovasculares	Secretaría de Salud Boletín de Información Estadística 2010	2010
Casos por asma, enfermedades isquémicas del corazón y enfermedades respiratorias agudas	Secretaría de Salud Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE)	2010

Fuente: IMCO 2013

Nota: Para simplificar los cálculos, no se consideran grupos de edad para los indicadores de salud.

Tabla V.3. Parámetros y variables económicas

Parámetros y variables	Fuente	Año
Concentración objetivo (promedio anual PM_{10}): $20\mu g/m^3$	Valor guía recomendado por la Organización Mundial de 2005 la Salud (OMS) (vigente)	2010
Salario diario: \$164 Salario anual: \$59,040	INEGI Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE)	2010 (promedio 4 trimestres)
Porcentaje de familias donde ambos padres trabajan: 39%	INEGI Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH)	2012
Población asegurada: 46%	INEGI Censo	2010
Costo de hospitalización diario para asegurados: \$5,156	IMSS (para hospitales de 2° y 3° nivel). Se asume que el ISSSTE y PEMEX enfrentan costos similares	2011
Costo de hospitalización diario para no asegurados: \$3,867	Siguiendo las diferencias que marca César <i>et al.</i> , 2002	
Días promedio de hospitalización Infección respiratoria: 4.96 Enfermedad cardiovascular: 5.88 Enfermedad respiratoria: 4.52	Secretaría de Salud Boletín de Información Estadística	2010
Precio por consulta familiar: \$505	Comisión Federal para Protección contra Riesgos Sanitarios. (COFEPRIS)	2010
Vida productiva: 50 años (de los 15 a los 65)	IMCO	
Proporción de muertes por grupo de edad	INEGI Registros Administrativos a nivel nacional	2010
Objetivo inflación: 3%	Banco de México	
Tasas de crecimiento poblacional	Consejo Nacional de Población (CONAPO)	2010-2018
Tasa de descuento: 12%	Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (SHCP)	
Datos meteorológicos del municipio de Morelia Num. de datos: 4845 Media aritmética: 40 Desv. Estándar: 17 Varianza: 273 Val. Mínimo: 1 Val. Máximo: 196.5 Muestra en %: 55 Muestra en días: 202	Correa-García <i>et al.</i> 2013	2010

Fuente: Correa-García *et al.*, 2013 e IMCO 2013

5.4.3 Supuestos principales

A continuación se presenta una lista de los supuestos principales en los que se basa el estudio del IMCO:

1. El número de casos registrados en el SUIVE equivale por lo menos a una consulta familiar, razón por la cual fueron contabilizados. No se encontraron registros para determinar cuántos de estos casos pasaron a consulta de especialidades, análisis de laboratorio u hospitalización.
2. Las consultas y los egresos hospitalarios se distribuyen de forma homogénea en todo el estado. Como se menciona en la sección anterior, las consultas y los egresos hospitalarios se publican a nivel estatal. Este supuesto permite asignarle a cada zona metropolitana una parte proporcional de los indicadores, según el porcentaje que representa la población sobre el total del estado.
3. La población de las ciudades mexicanas tiene características y comportamientos similares. Este supuesto permite usar el mismo estimador de sensibilidad para todas las ciudades de la muestra.
4. Las concentraciones de partículas no cambian al interior de las ciudades, no hay diferencias geográficas. Por ello se asume una sola concentración base para cada ciudad.
5. Las concentraciones de partículas se tomaron de la única estación de monitoreo.
6. Las defunciones a nivel municipal se distribuyen igual que las defunciones a nivel nacional. Este supuesto permite captar de una forma simple las diferencias de edad de las muertes prematuras a partir de las cifras nacionales que se presentan en los registros administrativos del INEGI.

5.4.4 Funciones concentración-respuesta

IMCO nos señala que de acuerdo con el INE y la SEMARNAT, las funciones concentración-respuesta (FCR) son el componente más importante para estimar los impactos en salud atribuibles a la contaminación del aire. Éstas representan la probabilidad de que ocurra un impacto en salud a partir de un cambio en la concentración de un contaminante a la que está

expuesta la población. En otras palabras, estas funciones determinan qué tan sensible es la población a padecer efectos negativos a causa de la contaminación.

Las FCR son el resultado de estudios epidemiológicos y se encuentran expresados en la literatura científica en términos de riesgos relativos (RR). La fórmula que utilizó IMCO para determinar el RR es:

$$RR = e^{\beta(\Delta conc)}$$

Donde β es el estimador y $\Delta conc$ es la diferencia entre la concentración base de la ciudad y la concentración objetivo.

En este tipo de estudios, los estimadores (β) son la mayor fuente de incertidumbre. Por ello, esta calculadora sólo considera dos escenarios con base en dos grupos de estimadores.

5.4.5 Metodología para estimar el riesgo relativo

IMCO estimó el efecto que tiene un cambio en la concentración de partículas sobre las visitas al hospital y las muertes de todas las causas, basándose en una metodología común para la literatura epidemiológica. Para esto, se usó un diseño de tipo ecológico a través de modelos de series de tiempo Poisson. Estos modelos utilizan datos de conteo (ver Tabla V.4) y suponen un riesgo homogéneo para toda la población.

Tabla V.4. Variables para los modelos econométricos

Variables (series de tiempo)	Fuente	Periodo
Concentración de contaminantes (promedios diarios)	Red automática de Monitoreo Atmosférico. (RAMA)	2001-2011
Visitas a hospitales por causas respiratorias. (datos diarios)	Registros médicos de 11 hospitales del IMSS del D.F.	2008-2011
Defunciones por todas las causas (datos diarios)	Sistema Nacional de Información de Salud (SINAIS) para el D.F.	2008-2011
Humedad y temperatura en el	Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET)	2008-2011

Distrito Federal (datos diarios)		
----------------------------------	--	--

Fuente: IMCO 2013

Para observar el efecto de la contaminación por partículas sobre las visitas al hospital por causas respiratorias IMCO estimó la siguiente ecuación:

$$\text{Log (numerodevisitas)} = \alpha + \beta x_i + \gamma z_i + u_i$$

Donde la variable dependiente, o sea numerodevisitas, se refiere al número de visitas diarias al hospital por tipo de padecimiento (infecciones o enfermedades respiratorias). La variable independiente de interés, x_i , representa el promedio de las mediciones diarias de partículas PM_{10} de todas las estaciones de monitoreo, y γz_i , representa un vector de variables de control que contiene las mediciones promedio diarias de humedad relativa y de temperatura mínima para todas las estaciones de monitoreo, así como dummies para controlar por fin de semana, estación del año (cálido –de abril a octubre– e invernal –de noviembre a marzo–), mes y el brote de influenza de abril de 2009.

Los tipos de padecimientos (i), infecciones y enfermedades respiratorias, se clasificaron según la Clasificación Internacional de Enfermedades CIE-10. Dentro de las infecciones respiratorias se incluyeron las visitas clasificadas con J00-J22. Dentro de las enfermedades respiratorias se incluyeron las visitas clasificadas con J30-J70.4.

Para observar el efecto de la contaminación por partículas sobre las muertes por todas las causas naturales se estimó la siguiente ecuación:

$$\log(muertes) = \alpha + \beta x_i + \gamma z_i + u_i$$

Donde la variable dependiente, o sea muertes, se refiere al número de defunciones diarias por todas las causas. La variable independiente de interés, x_i , representa el promedio de las mediciones diarias de partículas PM_{10} de la estación de monitoreo. Y z_i , representa un vector de variables de control que contiene las mediciones promedio diarias de humedad relativa y de temperatura mínima para todas las estaciones de monitoreo, así como dummies para controlar por

fin de semana, estación del año (cálido –de abril a octubre– e invernal –de noviembre a marzo–), mes y el brote de influenza de abril de 2009.

Siguiendo esta metodología, encontramos los estimadores (β) para calcular los egresos hospitalarios por causas respiratorias y las muertes atribuibles a la contaminación que se usan en el Escenario IMCO. La Tabla V.5 resume estos resultados:

Tabla V.5 Estimadores IMCO con intervalo de confianza al 95%

Impacto en salud.	Media	Lim. Inferior	Lim Superior
Hospitalizaciones por infecciones respiratorias.	0.0027**	0.0011	0.0042
Hospitalizaciones por enfermedades respiratorias.	0.0016*	-0.0001	0.0033
Muertes prematuras por todas las causas	0.006**	0.0002	0.0010

Fuente: IMCO 2013

*Nota: Los asteriscos denotan el nivel de significancia de los estimadores donde aquellos que tienen (**) son significativos al 5% y el que tiene (*) es significativo al 10%.*

Por la disponibilidad de información, estos modelos sólo se pudieron estimar para la Ciudad de México. Sin embargo, se asume que toda la población de las ciudades mexicanas tiene características y comportamientos similares (supuesto 3). Por ello, se usan estos estimadores para calcular las hospitalizaciones y muertes prematuras atribuibles a la contaminación en todas las ciudades de la muestra.

5.4.6 Literatura epidemiológica

IMCO hizo una revisión exhaustiva de la literatura epidemiológica. A partir de ésta se encontraron otros estimadores para hospitalizaciones por causas respiratorias y muertes totales, así como estimadores para hospitalizaciones por causas cardiovasculares y consultas por asma, infecciones respiratorias agudas y enfermedades isquémicas del corazón.

Cabe destacar que la literatura generalmente presenta riesgos relativos (RR) ante un determinado cambio en la concentración (el cambio más común es de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, para calcular los impactos atribuibles a la contaminación usando diferentes cambios en concentración es necesario encontrar el estimador en el que se basan dichos RR. Para ello, se usa la siguiente fórmula:

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta conc}$$

Donde el $\Delta conc$ es el cambio en concentración que corresponde al RR reportado.

La Tabla V.6 muestra los estimadores empleados para hacer los cálculos de este estudio, incluyendo la fuente y el intervalo de confianza.

Tabla V.6. Estimadores de la literatura epidemiológica

Impacto en Salud	Estimadores			Fuente
	Media	Lim. Inf.	Lim. Sup	
Consultas por asma	0.0037	0.0021	0.0052	Choudhury, Gordan& Morris 1997
Consultas por infecciones respiratorias agudas	0.0017	0.0003	0.0029	Steb el al. 2000*
Consultas por enfermedades isquémicas del corazón	0.0055	0.0017	0.0092	Stebet <i>al</i> 2000
Hospitalizaciones por causas respiratorias	0.0014	0.0012	0.0016	Rosales-Castillo <i>et al.</i> 2001
Hospitalizaciones por enfermedades cardiovasculares	0.0006	0.0003	0.0009	La Tertreet <i>al.</i> 2002**
Muertes prematuras por todas las causas	0.0009	0.0007	0.0012	Romeuet <i>al.</i> 2012* (Proyecto Escala, promedio de las 3 ciudades mexicanas con el modelo ajustado por ozono)

Fuente: IMCO 2013

Notas: Los estimadores para consultas se usan en los dos escenarios. (*) Estimadores que se usan en el Escenario IMCO. El resto de los estimadores para hospitalizaciones y muertes prematuras se usan en el Escenario Publicaciones Epidemiológicas.

5.4.7 Construcción de escenarios

En resumen, la tabla V.7 muestra los diferentes estimadores que se usan en cada uno de los escenarios que maneja este estudio.

Tabla V.7. Estimadores empleados

Impacto en salud	β Escenario IMCO
Muertes prematuras	0.0006
Egresos hospitalarios	0.0027
Egresos hospitalarios por enfermedades cardiovasculares	0.0006
Egresos hospitalarios por enfermedades respiratorias	0.0016
Consultas por infecciones respiratorias agudas	0.0017

Fuente: IMCO 2013

Generalmente, este tipo de estimadores se presentan junto con su intervalo de confianza al 95%. Con estos valores, se podría calcular los rangos en los que se encontraría el 95% de los impactos de la contaminación. Sin embargo, para simplificar la comunicación de los resultados, IMCO sólo considera la media de los estimadores.

5.4.8 Cálculo de impactos atribuibles a la contaminación

Para calcular las muertes, las hospitalizaciones y las consultas atribuibles a la contaminación del aire se siguió parte de la metodología de Riojas *et al.* (2012). Para el cálculo de muertes prematuras atribuibles a la contaminación (M_{AT}) se usó la siguiente fórmula:

$$M_{ATi} = M_i \left(1 - \frac{1}{e^{\beta M(\Delta conc)}} \right)$$

Donde M son las muertes totales por ciudad y βM es el estimador para muertes prematuras por todas las causas naturales.

La pérdida en productividad por muertes prematuras se calculó en diferentes pasos.

- Primero, se dividió a las muertes por grupo de edad, siguiendo la distribución de las muertes a nivel nacional.
- Segundo, se identificó el remanente de los años de vida productiva (la cual empieza a los 15 años) para cada grupo de edad. Por ejemplo, 2% de las muertes corresponden al grupo de 20-24 años (edad promedio: 22), lo que implica que a este grupo le quedaba 43 años de vida productiva.
- Tercero, se multiplicaron estos años por el salario anual que marca la Tabla 3.
- Cuarto, se sumó la pérdida en productividad para todos los grupos de edad.

Para el cálculo de egresos hospitalarios atribuibles a la contaminación (E_{AT}) se usó la siguiente fórmula:

$$E_{AT_i}^n = E_i^n \left(1 - \frac{1}{e^{\beta En(\Delta conc)}} \right)$$

Donde E_i son los egresos hospitalarios por ciudad por tipo de padecimiento, n es el tipo de padecimiento (infecciones respiratorias, enfermedades cardiovasculares y enfermedades respiratorias) y βEn es el estimador para egresos por padecimiento.

Las hospitalizaciones tienen un costo para el sistema de salud, además de generar una pérdida en productividad por ausentismo laboral. Para los costos en salud se multiplicó E_{AT} por padecimiento, por el número de días de hospitalización promedio por padecimiento por el costo diario de hospitalización, separando entre población asegurada y no asegurada. Al final se sumó el total de los costos en salud por hospitalizaciones.

Para el cálculo de consultas atribuibles a la contaminación (C_{AT}) se usó la siguiente fórmula:

$$C_{AT_i}^n = C_i^n \left(1 - \frac{1}{e^{\beta C n (\Delta conc)}}\right)$$

Donde C_i^n son los casos por ciudad por tipo de padecimiento, n es el tipo de padecimiento (infecciones respiratorias agudas, asma y enfermedades isquémicas del corazón) y $\beta C n$ es el estimador para visitas al médico por padecimiento.

No es posible discernir qué tipo de tratamiento corresponde a los casos que reporta el SUIVE. Sin embargo, se puede asumir que todos estos casos se contabilizan debido a que por lo menos asistieron a una consulta familiar. Por ello, para calcular los costos en salud por consultas se multiplicó C_{AT} por el costo de una consulta familiar (Tabla 3). Asimismo, se consideró una pérdida en productividad por ausentismo laboral para acudir al médico, multiplicando C_{AT} por el salario diario.

Los impactos calculados a partir de las fórmulas descritas en los párrafos anteriores arrojan resultados anuales.

5.5 Cálculos y resultados Morelia 2010

Concentración promedio anual de PM_{10} en la ciudad de Morelia estación de monitoreo H. Ayuntamiento año 2010: **40**.

5.5.1 Costos anuales

Se procede a realizar el cálculo de los costos atribuibles a la contaminación antropogénica en muertes prematuras y la pérdida en productividad derivada de estas, el costo por

egresos hospitalarios y el costo por consultas, así como la pérdida de productividad derivada de la visita médica.

5.5.2 Muertes atribuibles a la contaminación

- Muertes totales en Morelia año 2010: 3,438

$$o \quad M_{ATi} = M_i \left(1 - \frac{1}{e^{\beta M(\Delta conc)}} \right)$$

$$o \quad M_{ATi} = 3438 \left(1 - \frac{1}{e^{0.0006(3483-20)}} \right)$$

Muertes atribuibles a la contaminación (M_{AT}): **41**

5.5.3 Pérdida de productividad total por muertes prematuras.

Se determina que existe una pérdida de productividad total cuando por causa de la contaminación antropogénica la persona fallece antes del término de su vida laboral útil (65 años).

Para determinar este costo se multiplica el número de años perdidos por muerte prematura por el porcentaje sobre el total de muertes de acuerdo a la edad y el salario promedio anual ENOE.

Cálculo del Costo en Productividad por Muerte Prematura (CPMP)

- Muertes atribuibles a la contaminación (M_{AT})	41
- Salario anual ENOE	\$ 59,040.00

- Edad máxima productiva 65

Fórmulas:

Vida productiva = (edad máxima productiva – edad promedio de muerte)

#MATporedad= (M_{AT} * porcentaje de muertes en esa edad)

CPMP = Vida productiva * Salario anual ENOE * #MATporedad

Calculamos por grupos de edades

Cálculo del costo por muerte prematura en menores de 15 años

- % de muertes que corresponden a la edad 7%

Sustituimos

Vida productiva: $65 - 15 = 50$

#MATporedad: $41 * 0.07 = 2.87$

CPMP = $50 * 59040 * 2.87 = \$ 8'472,240.00$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 15 y 19 años

- % de muertes que corresponden a la edad 2%

Sustituimos

Vida productiva: $65 - 17 = 48$

#MATporedad: $41 * 0.02 = 0.82$

$$\text{CPMP} = 48 * 59040 * 0.82 = \$ 2'323,814.40$$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 20 y 24 años

- % de muertes que corresponden a la edad 2%

Sustituimos

$$\text{Vida productiva: } 65 - 22 = 43$$

$$\# \text{MATporedad: } 41 * 0.02 = 0.82$$

$$\text{CPMP} = 43 * 59040 * 0.82 = \$ 2'081,750.40$$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 25 y 29 años

- % de muertes que corresponden a la edad 2%

Sustituimos

$$\text{Vida productiva: } 65 - 27 = 38$$

$$\# \text{MATporedad: } 41 * 0.02 = 0.82$$

$$\text{CPMP} = 38 * 59040 * 0.82 = \$ 1'839,686.40$$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 30 y 34 años

- % de muertes que corresponden a la edad 3%

Sustituimos

$$\text{Vida productiva: } 65 - 32 = 33$$

$$\# \text{MATporedad: } 41 * 0.03 = 1.23$$

$$\text{CPMP} = 33 * 59040 * 1.23 = \$ 2'396,433.60$$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 35 y 39 años

- % de muertes que corresponden a la edad 3%

Sustituimos

Vida productiva: $65 - 37 = 28$

#MATporedad: $41 * 0.03 = 1.23$

CPMP = $28 * 59040 * 1.23 = \$ 2'033,337.60$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 40 y 44 años

- % de muertes que corresponden a la edad 3%

Sustituimos

Vida productiva: $65 - 42 = 23$

#MATporedad: $41 * 0.03 = 1.23$

CPMP = $23 * 59040 * 1.23 = \$ 1'670,241.60$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 45 y 49 años

- % de muertes que corresponden a la edad 4%

Sustituimos

Vida productiva: $65 - 47 = 18$

#MATporedad: $41 * 0.04 = 1.64$

CPMP = $18 * 59040 * 1.23 = \$ 1'742,860.80$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 50 y 54 años

- % de muertes que corresponden a la edad 5%

Sustituimos

Vida productiva: $65 - 52 = 13$

#MATporedad: $41 * 0.05 = 2.05$

CPMP = $13 * 59040 * 2.05 = \$ 1'573,416.00$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 55 y 59 años

- % de muertes que corresponden a la edad 6%

Sustituimos

Vida productiva: $65 - 57 = 8$

#MATporedad: $41 * 0.06 = 2.46$

CPMP = $8 * 59040 * 2.46 = \$ 1'161,907.20$

Cálculo del costo por muerte prematura entre los 60 y 64 años

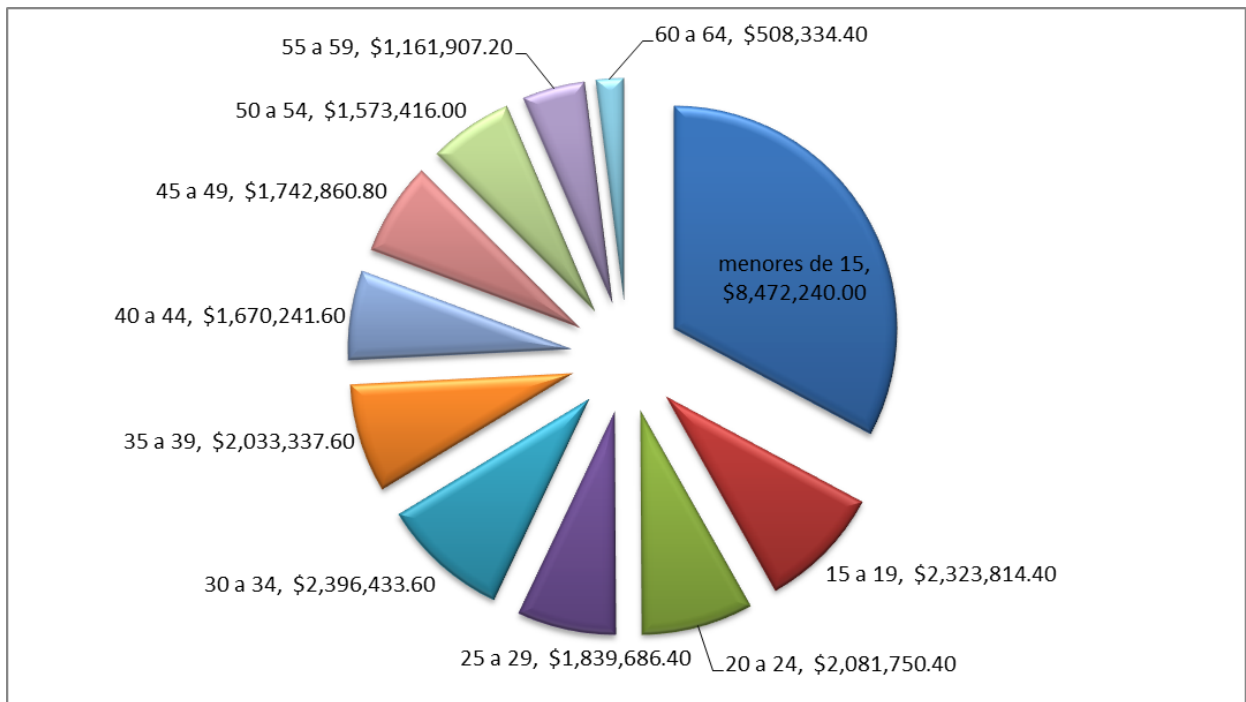
- % de muertes que corresponden a la edad 7%

Sustituimos

Vida productiva: $65 - 62 = 3$

#MATporedad: $41 * 0.07 = 2.87$

CPMP = $3 * 59040 * 2.87 = \$ 508,334.40$



Gráfica V.1 Distribución de costos por muertes prematuras por edades

Fuente: Elaboración propia

Se suman los totales de pérdidas de productividad por muerte prematura de los grupos de edades y nos arroja el total.

Total por muertes prematuras: \$ 25'804,022.40

5.5.4 Pérdidas por egresos hospitalarios

Valores generales.

- Concentración promedio anual PM_{10} : 40
- Egresos por infecciones respiratorias: 699
- Egresos por enfermedades cardio-vasculares: 1374
- Egresos por enfermedades respiratorias: 758

Datos

Días hospitalización promedio:

- Por infecciones respiratorias: 4.96
- Por enfermedades cardio-vasculares: 5.89
- Por enfermedades respiratorias: 4.52

Factor de impacto en salud atribuible a la contaminación:

- Por infecciones respiratorias: 0.0027
- Por enfermedades cardio-vasculares: 0.0006
- Por enfermedades respiratorias: 0.0016

Se aplica la fórmula para determinar el número de egresos hospitalarios atribuibles a la contaminación.

$$E_{ATi}^n = E_i^n \left(1 - \frac{1}{e^{\beta En(\Delta conc)}} \right)$$

Obtenemos:

Egresos por infecciones respiratorias atribuibles a la contaminación:

- $699 * (1 - (1 / \text{Exp}(0.0027 * (40 - 20)))) = 36$

Egresos por enfermedades cardiovasculares atribuibles a la contaminación

- $1374 * (1 - (1 / \text{Exp}(0.0006 * (40 - 20)))) = 16$

Egresos por enfermedades respiratorias atribuibles a la contaminación

- $758 * (1 - (1 / \text{Exp}(0.0016 * (40 - 20)))) = 24$

Se determina el costo de los días de hospitalización para asegurados y no asegurados.

Datos generales:

Población asegurada y no asegurada

- Población asegurada: 46%
- Población no asegurada: 54%

Costo por día de hospitalización:

- Población asegurada: \$5,156.00
- Población no asegurada: \$3,867.00

Determinamos los costos de hospitalización de acuerdo a la siguiente fórmula:

(Porcentaje de población asegurada*costo por día) * (Egresos por infecciones respiratorias atribuibles a la contaminación * días hospitalización promedio + Egresos por enfermedades cardiovasculares atribuibles a la contaminación * días hospitalización promedio + Egresos por enfermedades respiratorias atribuibles a la contaminación * días hospitalización promedio)

Sustituimos:

Para asegurados:

$$(0.46*5156)*(36*4.96+16*5.84+24*4.52) = \$911,452.88$$

Para no asegurados:

$$(0.54*3867)*(36*4.96+16*5.84+24*4.52) = \$802,474.81$$

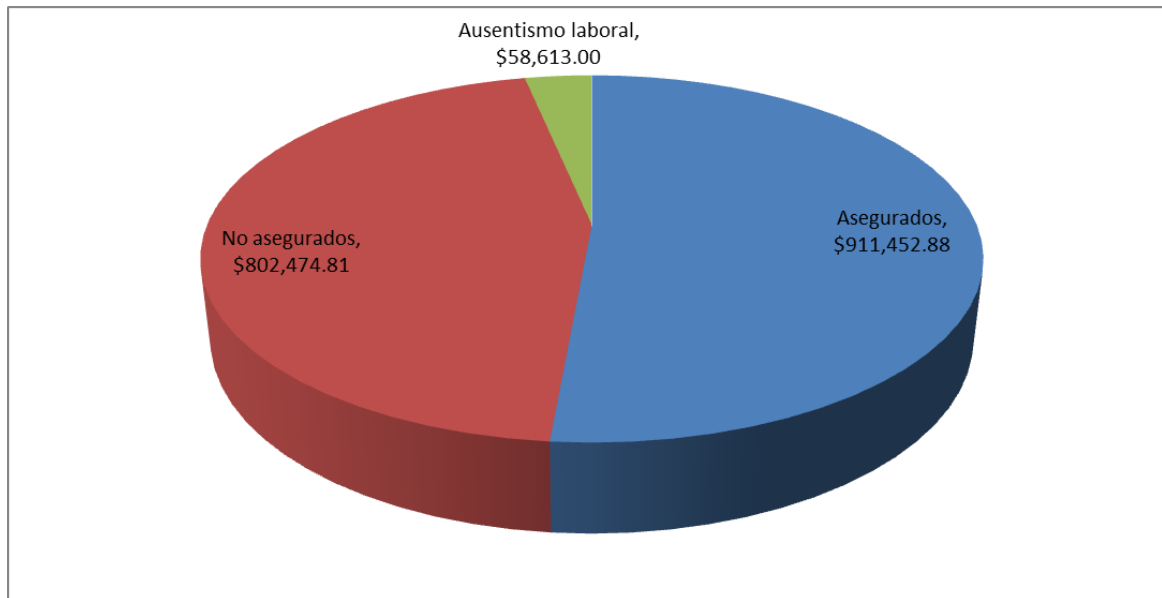
Se determina el costo por la pérdida de productividad por ausentismo laboral.

Esto se logra multiplicando el salario diario por el número de días de hospitalización, por el porcentaje de mayores de 15 años del total (93%)

$$(164*(36*4.96+16*5.84+24*4.52))*0.93 = \$ 58,613$$

Cálculo del total por egresos hospitalarios

Total = Costos de hospitalización para asegurados + Costos de hospitalización para no asegurados + Pérdidas de productividad por ausentismo laboral



Gráfica V.2 Pérdidas por egresos hospitalarios
Fuente: Elaboración propia

Total = \$ 911,452.88 + \$ 802,474.81 + \$ 58,613

Total de pérdidas por egresos hospitalarios: \$1'772,540.69

5.5.5 Costos por consultas

Valores generales:

- Concentración promedio anual PM₁₀: 40
- Costo por consulta: \$505.00
- Casos enfermedades respiratorias agudas todas las edades : 199,658
- Casos asma: 1,757
- Casos enfermedades isquémicas del corazón: 155

Factor de impacto en salud por contaminación:

- Por enfermedades respiratorias agudas: 0.0017
- Casos asma: 0.0037
- Casos enfermedades isquémicas del corazón: 0.0055

Consultas 6,762

- Por enfermedades respiratorias agudas: 6,619
- Casos asma: 129
- Casos enfermedades isquémicas del corazón: 16

Costo por consultas:

Fórmula Número de consultas * costo por consulta.

$$6,762 * \$505.00 = \$3'414,810.00$$

Costo por pérdida en productividad por ausencia laboral

Se utiliza un día de trabajo para asistir a consulta.

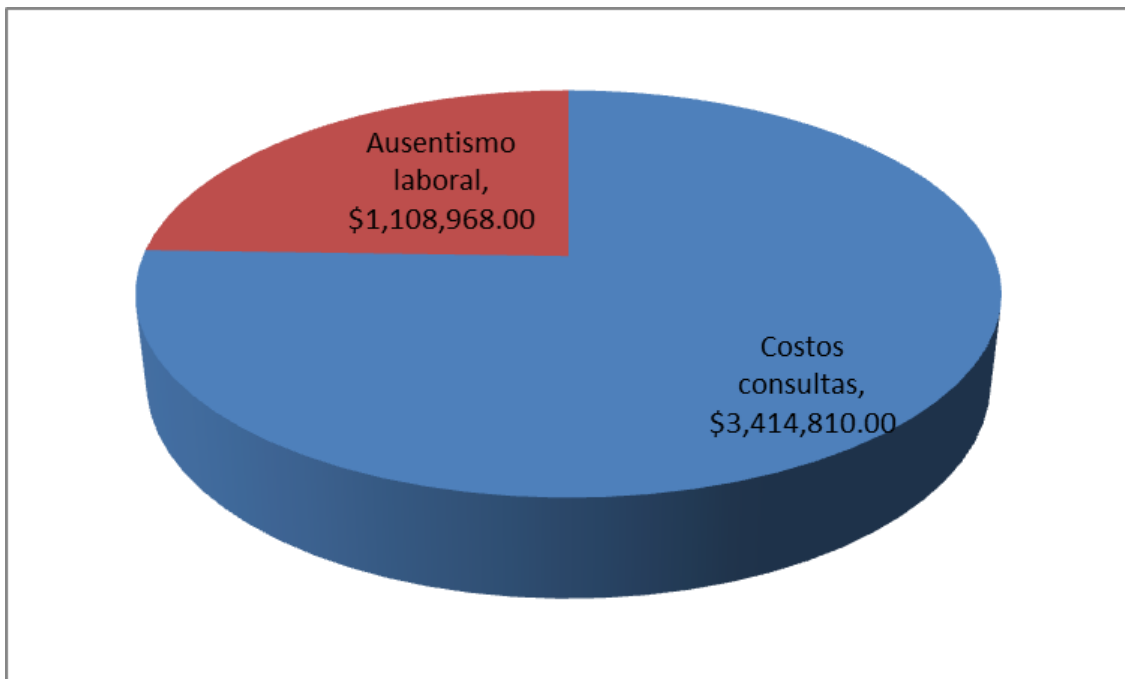
Fórmula: Número de consultas * salario diario.

$$6,762 * 164.00 = \$1'108,968.00$$

Cálculo del total de costos por consultas.

Fórmula: Costo por consultas + Costo por pérdida en productividad por ausencia laboral

$$\$3'414,810.00 + \$1'108,968.00 = \$ 4'523,778.00$$



Gráfica V.3 Pérdidas por consultas y ausentismo laboral

Fuente: Elaboración propia

Total de pérdidas por consultas: \$4'523,778.00

5.5.6 Costo por contaminación.

Finalmente podemos determinar el costo total de contaminación antropogénica para el año 2010.

Datos generales:

Número de casos atribuibles a la contaminación

- Muertes prematuras: 41
- Hospitalizaciones: 76
- Consultas: 6,762

Población en Morelia censo 2010: 829,625

Tasa de casos atribuibles a la contaminación por cada 100,000 habitantes

- Muertes prematuras: 5
- Hospitalizaciones: 9
- Consultas: 815

Costo por contaminación.

Gastos en salud.

Total de pérdidas por consultas+ Total de pérdidas por egresos hospitalarios

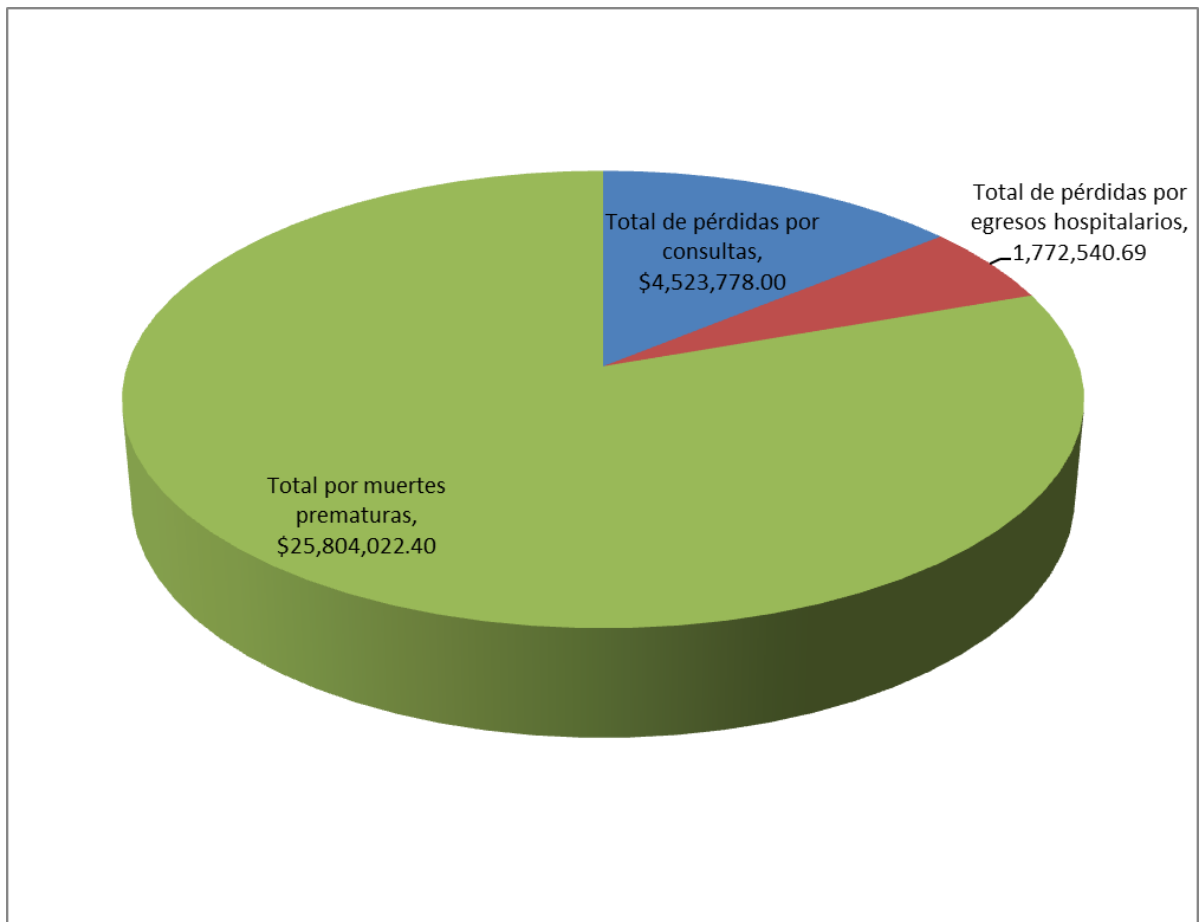
$$\text{\$ 4'523,778.00} + \text{\$ 1'772,540.69} = \text{\$ 6'296,318.69}$$

Total en gastos en salud: \\$ 6'296,318.69

Se calcula el costo total.

Gastos en salud + Total por muertes prematuras

$$\text{\$ 6'296,318.69} + \text{\$ 25,804,022.40} = \text{\$ 32'100,341.09}$$



Gráfica V.4 Costo total de la contaminación antropogénica.

Fuente: Elaboración propia.

Costo total de la contaminación antropogénica para el municipio de Morelia en el año 2010:

\$32'100,341.09

5.6 Ventajas y limitaciones del modelo IMCO

Limitaciones:

- El modelo sólo estima los impactos por partículas PM_{10} , sin captar el efecto de otros contaminantes atmosféricos como partículas $PM_{2.5}$, ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO), entre otros.
- Por falta de información, sólo es posible estimar impactos por exposición anual. Si se tuvieran datos diarios, se podría hacer una estimación para el indicador de exposición promedio por 24-horas (como lo marca la norma oficial mexicana).
- Los resultados del modelo podrían estar subestimando los efectos, debido a que el modelo no capta:
 - Impactos en salud tratados en hospitales privados.
 - Gastos en medicinas, personal y equipo médico, entre otros.

Costos sociales de los padecimientos (afectaciones en la dinámica familiar, pérdidas en productividad por un menor rendimiento dadas ciertas enfermedades y disponibilidad a pagar por no enfermarse, entre otros).

Conclusión

La importancia de este trabajo, más allá de los resultados económicos obtenidos, radica en el poner dentro de la agenda de las políticas públicas ambientales en el municipio de Morelia, el tema de la contaminación antropogénica y su relación directa en costos económicos y de salud.

Al demostrar la hipótesis de esta tesis de que a mayor incidencia antropogénica mayor contaminación y por ende mayor costo económico en salud; se ha demostrado fehacientemente que es posible el sugerir que se apliquen políticas públicas ambientales de contención y de reversión para paliar los efectos negativos de la contaminación atmosférica antropogénica y lograr con esto, un incremento en la calidad de vida de los habitantes del municipio de Morelia. De hecho, si una política pública busca incrementar la calidad de vida ya es una política pública viable.

La contaminación atmosférica antropogénica desafortunadamente es un riesgo al que estamos expuestos diariamente todos los habitantes del mundo. Este problema ambiental afecta la calidad de vida de la población, principalmente urbana, induciendo enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como agravando las ya existentes, ocasionando muertes prematuras y limitando la actividad y productividad de la sociedad. Es por ello que, las autoridades ambientales y de salud prestan especial atención a medidas de control de la contaminación atmosférica y requieren información técnica de respaldo y herramientas como la de Evaluación de Impactos en Salud (EIS) para estudiar sus impactos.

En Morelia no se había determinado una EIS con datos reales ya que la existente había determinado el promedio de contaminación anual equiparando nuestra ciudad a otras ciudades mexicanas únicamente bajo el criterio del número de habitantes, de esta manera se había determinado el supuesto que nuestra ciudad en el año 2009 había tenido una contaminación promedio de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (IMCO, 2013); este dato quedó fuera de la realidad al evaluar las mediciones de ese año y obtener un promedio de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; de esta manera fue posible hacer el cálculo de la EIS.

En cuanto a la disponibilidad de información que sustente la relación entre la contaminación atmosférica y los impactos en la salud, los estudios epidemiológicos y toxicológicos realizados en diversas partes del mundo, constituyen una buena fuente de datos que demuestran una relación causal. Numerosos estudios han evaluado la presencia de contaminantes en la atmósfera así como la exposición de la población a dichos contaminantes, identificando y documentando una serie de impactos en salud que van desde días de actividad restringida y ataques de asma hasta cáncer de pulmón y mortalidad prematura. Para Morelia el acceso a la información atmosférica fue complicado ya que solo se cuentan con registros a partir del año 2009 provenientes de una única estación de monitoreo y en algunos casos la información obtenida era escasa o nula. En lo que respecta a los ingresos hospitalarios, consultas y muertes fue necesario obtener las bases de datos de las diferentes dependencias oficiales de internet ya que en todos los casos no fue posible obtener la información de los hospitales mismos.

La relación entre contaminación y aumento de enfermedades es evidente y resulta indispensable que las autoridades establezcan normas de calidad de aire y propongan estrategias para tener herramientas de control que coadyuven en el cumplimiento de las mismas y de esta manera, protejan al medio ambiente y por ende, la salud de la población.

La evaluación de impactos en salud surge, entonces, como una herramienta útil para estimar los efectos en la salud y por tanto, un insumo importante en la toma de decisiones, el establecimiento de normas, la gestión de la calidad del aire y la elaboración y aplicación de la política ambiental. De esta forma, a través de los resultados de las EIS, los tomadores de decisiones tienen la posibilidad de considerar los impactos en la salud humana dentro de las estrategias y acciones que se implementan en materia de contaminación, es posible que los métodos y herramientas de cálculo varíen dependiendo del evaluador; sin embargo, lo verdaderamente importante es que la EIS se desarrolle de manera que permita llegar a presentar resultados específicos, certeros y útiles para la toma de decisiones.

En México, al igual que en otros países, se recurre a información científica internacional, en su mayoría de Estados Unidos y Europa, para llevar a cabo este tipo de evaluaciones, lo que acarrea cierta incertidumbre a los resultados de la EIS. Es importante, por tanto, promover la

investigación sobre los impactos en salud ocasionados por la contaminación en México, para así tener acceso a información más adecuada y relevante a la población y mezcla de contaminación locales. Los estudios de series de tiempo, al ser más baratos y fáciles de llevar a cabo, han recibido más atención; sin embargo, es importante promover la realización de estudios de cohorte, ya que éstos son los que proveen la información epidemiológica más valiosa para una EIS. Una vez que se cuente con varios estudios de cohorte, se podrán producir estimados agrupados y meta-análisis, y finalmente renunciar a la dependencia de información internacional. La disponibilidad de información local reducirá la incertidumbre de los estimados, incrementando su validez y credibilidad (INE, 2012).

A través del estudio de la EIS en Morelia se pudo determinar el costo económico; este costo: \$ 32'100,341.09 (treinta y dos millones cien mil trescientos cuarenta y un pesos 09/100 M.N) corresponde únicamente al año 2010, así que haciendo un ejercicio sencillo podríamos decir que a la fecha se han generado gastos por cinco veces más (años 2011, 2012, 2013 y 2014), más inflación y crecimiento de población y de esta manera tenemos una cifra cercana a los 180 millones de pesos. Esta cantidad representa ya una cifra muy importante, pero es nada si se compara a los daños en salud y a la muerte misma de la población derivada de la contaminación; es importante mencionar que los impactos en la salud humana son solo un aspecto de los daños que la contaminación atmosférica puede causar. Existen también otros impactos sobre la biodiversidad y la integridad de los ecosistemas a causa de la contaminación atmosférica, así como daños provocados por los impactos de los contaminantes sobre ciertas superficies, como los materiales de construcción, por ejemplo.

Recomendaciones de política pública ambiental

Eje rector

- Establecer un modelo para mejorar la calidad del aire del municipio de Morelia a fin de que cumpla con los estándares de calidad del aire de la OMS (Concentración de $PM_{10} < 20 \mu g/m^3$).

Lineamientos estratégicos

- **Elaborar un programa encaminado a mejorar la calidad del aire del municipio de Morelia.**- Este plan deberá ser transexenal y contemplar a todos los actores mencionados (salud, transporte, estaciones de medición); asimismo, se sugiere cuente con los siguientes elementos:
 - Difusión de los riesgos que implica la contaminación atmosférica antropogénica en la salud y sus costos.
 - Contar con una red de medición de contaminantes atmosféricos en todo el municipio de Morelia que cumpla cabalmente con los lineamientos del “Catálogo de estaciones de monitoreo” del INECC.
 - Contar con mediciones en tiempo real de la cantidad de partículas PM₁₀ para conocer con certeza el estado de la calidad del aire.
- **Identificar puntualmente las fuentes generadoras de contaminación antropogénica.**
 - Fortalecer el registro, regulación y vigilancia de todas las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos antropogénicos, ya que esta información es esencial para la evaluación del desempeño y perfeccionamiento de las políticas públicas.
- **Cambio tecnológico y control de emisiones.**
 - Mejoramiento de la plantilla de transporte público y modernización de la misma.
- **Educación ambiental y participación ciudadana.**
 - Elaborar programas de educación ambiental desde los primeros años de escuela.
- **Plan municipal de mejoramiento vial.**
 - Mejorar la calidad de las vialidades así como diseñar mejoras para hacer más eficiente la circulación en las mismas.

- **Incremento y mantenimiento a las áreas verdes.**
- **Red de monitoreo de las enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica antropogénica.**
 - Se deberá contar con un sistema único de monitoreo de los ingresos hospitalarios, consultas y muertes en todos los hospitales tanto públicos como privados, de las enfermedades asociadas a la contaminación antropogénica, para de esta manera contar con datos diarios y poder cruzar esta información con las estaciones de monitoreo atmosférico.

Debemos obtener una visión global ante un modelo tan complejo, los actores y sus causas son muchos por lo que se debe atender puntualmente el origen del problema y de esta manera proponer políticas públicas de contención y mejoramiento que nos permitan resultados medibles en corto plazo.

La aplicación de la verificación vehicular es imperante y el establecimiento de una red de monitoreo ambiental planeada eficientemente nos es solo una necesidad sino una obligación legal en nuestra ciudad de más de medio millón de habitantes; asimismo, se debe de contar con expedientes y datos en tiempo real de los ingresos hospitalarios tanto en los hospitales públicos como en los privados.

Un enfoque integral evalúa los riesgos en salud humana, elementos naturales y materiales simultáneamente, sirviéndose de las metodologías de evaluación de impactos en salud y evaluación de impactos ecológicos. Este enfoque reconoce la interrelación entre la salud de los seres humanos y la salud de los ecosistemas, así como el valor intrínseco de cada uno, coadyuvando en una toma de decisiones mejor informada y más acertada. Por ello, es importante que en Morelia se cuente también con información para caracterizar los impactos de la contaminación atmosférica de manera integral, dando cuenta no solo de los impactos en salud sino de otros posibles impactos en el medio ambiente y elementos materiales; con ello se logrará contar con una herramienta confiable que dé lugar a la toma de decisiones bien sustentadas en materia de control de calidad del aire.

Bibliografía

- Adnan Amna (2010) “Effects of genetic pollution in plants and animals”.
- Aguilar Villanueva L. F. (1996) “La hechura de las políticas”, México: Porrúa.
- Aphea Project. (2006) “Air Pollution and Health: A European Approach”
- Aránguez, E., J. M. Ordóñez, J. Serrano, N. Aragonés, R. Fernández-Petier, A. Gandarillas e I. Galán. (2003) “Contaminantes Atmosféricos y su Vigilancia”. Revista Española.
- Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión (2013). “Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente”. México: Diario oficial de la federación.
- César, H., Borja-Aburto, V.H., Cicero-Fernández, P.(2002). “Valoración económica del mejoramiento de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México”.
- Choudhury, A. H., Gordian, M. E., & Morris, S. S. (1997). “Associations between respiratory illness and PM₁₀ air pollution”. Archives of Environmental Health: An International Journal, 52(2), 113-117.
- Cody RP, Weisel CP, Birnbaum G, Liou PJ. “The effect of ozone associated with summer time photo chemical smog on the frequency of asthma visits to hospital emergency departments. Environ”. Res 1992; 58: 184– 194.
- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD) (1987), “Nuestro futuro común”, Informe Brundtland, ONU.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) (1992), “Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Río de Janeiro”, ONU.
- Correa- García, A (2009) “Calidad del aire en la ciudad de Morelia”. Contactos. Revista

de educación en ciencias e ingeniería. (México) 3ª Época. Núm., 74, Pp. 29-36. Octubre-Diciembre, 2009. Universidad Autónoma Metropolitana.

- Correa-García (2013). “Monitoreo del aire en la ciudad de Morelia”. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Desco (2008): “Perú hoy. Territorio y naturaleza. Desarrollo en armonía.” Perú: Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo
- Downs (1993): “El ciclo de atención a los problemas sociales. Los altibajos de la ecología.” En Aguilar V. Problemas públicos y agenda de gobierno. México: Purrúa.
- European Environment Agency EEA (2010) “Annual report 2010 and Environmental statement 2011”. Disponible en < <http://www.eea.europa.eu/publications/annual-report-2010>> [Acceso 2015].
- García, R. (2006). “Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria”. Barcelona, Gedisa.
- Gobierno del estado de Michoacán. [Internet], México. Disponible en: <<http://michoacan.gob.mx/index.php/temas/medio-ambiente/calidad-del-aire>> [Acceso 2013].
- H. Ayuntamiento de Morelia. [Internet], México. Disponible en: <<http://www.morelia.gob.mx/>> [Acceso 2013]
- H. Congreso del Estado de Michoacán de Ocampo. (2010). “Ley ambiental y de protección del patrimonio natural del estado de Michoacán de Ocampo”. México: Periódico oficial.
- Heller, F., Z. Strzyszcz, and T. Magiera (1998). “Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia”. Poland, J. Geophys. Res., 103, 17,767–17,774, doi:10.1029/98JB01667.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). [Internet], México.

Disponible en: <<http://www.inecc.gob.mx>> [Acceso octubre 2013].

- INE-SEMARNAT, (2011). “Guía para evaluar los impactos en la salud por la instrumentación de medidas de control de la contaminación atmosférica”. Disponible en http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=682
- INE-SEMARNAT, (2003). “Introducción al análisis de riesgos ambientales”, Instituto Nacional de Ecología – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales”, México, 123pp.
- INE-SEMARNAT. (2011). “Guía para evaluar los impactos en la salud por la instrumentación de medidas de control de la contaminación atmosférica”.
- Instituto Mexicano para la competitividad. IMCO (2013). “Anexo metodológico”.
- Instituto Nacional de Ecología (2012) “Diagnóstico de la medición de la calidad del aire en México. 60 años monitoreando la calidad del aire”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Publicación: Marzo 2012. México
- Instituto Nacional de Ecología (2013) “Evaluación de impactos en salud por contaminantes atmosféricos”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- J. Spedding. (1981) “Contaminación atmosférica”. Editor Reverte, ISBN 84-291-7506-7 pag.3
- K. Katsouyanni, D. Zmirou, C. Spix, J. Sunyer, J.P. Schouten, A. Pönkä, H.R. Anderson, Y. Le Moullec, B. Wojtyniak, M.A. Vigotti, L. Bacharova (1995), “Short-term effects of air pollution on health: a European approaching epidemiological time-series data. The APHEA project: background, objectives, design”. EurRespir J, 8, 1030–1038, DOI: 10.1183/09031936.95.08061030
- Küenzly N. (2000). “Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. Lancet”; 356: 795-801.

- Lahera P., E. (2004) “Política y políticas públicas”. Santiago de Chile: CEPAL.
- Le Tertre, A., Medina, S., Samoli, E., Forsberg, B., Michelozzi, P., Boumghar, A., Vonk, J.M., Bellini, A., Atkinson, R., Ayres, J.G., Sunyer, J., Schwartz, J. &Karsouyanni, K. (2002). “Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities”. J. Epidemiol Community Health 56: 773-9.
- Manahan Stanley E. (2007), “Introducción a la química ambiental”. Editor Reverte, ISBN 84-291-7907-0 pag. 402
- Marcano, J. 2010. Disponible en <http://www.jmarcano.com>
- Merriam-Webster Online Dictionary <http://www.merriam-webster.com/>
- Myers, N. (1992). “El futuro de la Tierra”. Madrid: Celeste Ediciones.
- Organización Mundial de la Salud. OMS. <http://www.who.int/es/>
- Pope, C.A.R., Thun, M.J., Namboodiri, M.M., Dockery, D.W., Evans, J.S., Speizer, F.E. and Heath, C.W. “Particulate air pollution as a predictor of mortality inprospectiv estudy of U. Am. J. Respir. Crit. Care Med”. 1995, 151: 669-674
- Préndez, M. 1993. “Características de los Contaminantes Atmosféricos. Estado Actual y Soluciones”. Santiago, Universidad de Chile y Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana. pp. 109-186.
- Procuraduría de Protección al Ambiente (PROAM). [Internet], Morelia, Michoacán; México. Disponible en <<http://www.proam.michoacan.gob.mx/>> [Acceso octubre 2013].
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). [Internet], México. Disponible en: <<http://www.profepa.gob.mx/>> [Acceso diciembre 2013].
- Riojas, H., Álamo, U., Texcalac, J.L. &Romieu, I. (2012). “Evaluación de impacto en salud por exposición a ozono y material particulado (PM₁₀) en la Zona Metropolitana del Valle de México”. NSP. ISBN 978-607-511-028-8.

- Romieu, I., Gouveia, N., Cifuentes, L., Ponce de Leon, A., Junger, W., Miranda-Soberanis, V., Hurtado-Díaz, M., Vera, J., Rojas, L., Tzintzun-Cervantes, G., Schwartz, J. & Solis, P. (2012). "Multi-city study of air pollution and health effects in Latin America (ESCALA). HE" Research Report. Boston, MA: Health Effects Institute
- Rosales-Castillo, J.A., Torres-Meza, V.M., Olaiz-Fernández, G. & Borja-Aburto, V.H., (2001). "Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos". Salud Pública Mex 43: 544-555.
- Saldiva, P.H.N., Pope, C.A., Schwartz, J., Dockery, D.W., Lichtenfels, A.J.F.C., Salge, J.M., Barone, I.A., Bohm, G.M. "Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in Sao Paulo, Brazil". Arch. Environ. Health. 1995, 50(2): 159-163.
- Salud Pública y Semarnat - INE. Dirección de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2003.
- Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA). [Internet], Michoacán México. Disponible en <<http://suma.michoacan.gob.mx/>> [Acceso enero 2014].
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). [Internet], México. Disponible en: <<http://www.semarnat.gob.mx/>> [Acceso diciembre 2013].
- Sistema Nacional para la Información de la Calidad del Aire (SINAICA). [Internet], México. Disponible en: <http://sinaica.ine.gob.mx/rama_morelia.html> [Acceso diciembre 2013].
- Téllez-Rojo Mm, Romieu I, Ruiz-Velasco S, Lezana Ma, Hernández-Avila Mm. (2000) "Daily respiratory mortality and PM₁₀ pollution in Mexico City: Importance of considering place of death". Eur Respir J.; 16: 391-6.
- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). [Internet] México. Disponible en <<http://www.prensa.umich.mx/?p=6051>> [Acceso 27 de Agosto 2013].
- Urbinato David (1994). "London's Historic "Pea-Soupers". United States Environmental

Protection Agency, EPA Journal on line.

- Ware JH, Thribodeau LA, Speizer FE, Colome S, Ferris BG. (1981) "Assessment of the health effects of atmospheric sulfur oxides and particulate matter: evidence from observational studies". Environ Health Perspect; 41: 255–276.
- WISE News, (1990) "Soviet weapons plant pollution".

ANEXO A

Elementos jurídicos

La obligatoriedad de contar con medidores de la calidad del aire, y la imperiosa necesidad de la implementación de políticas públicas ambientales que garanticen el cumplimiento de la reglamentación existente son indispensables; ya que el actual estado de derecho requiere de una nueva cultura de la legalidad, donde la ley se cumpla y no sólo se quede plasmada en el papel, sino que sea tan eficiente, y de manera tal, que cada día se combata la contaminación con miras a un mejor nivel de vida en un entorno sustentable y con un mejoramiento continuo de todos los bienes naturales comunes.

La ley general del equilibrio ecológico señala:

ARTÍCULO 7o.- Corresponden a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

I.- La formulación, conducción y evaluación de la política ambiental estatal;

II.- La aplicación de los instrumentos de política ambiental previstos en las leyes locales en la materia, así como la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente que se realice en bienes y zonas de jurisdicción estatal, en las materias que no estén expresamente atribuidas a la Federación;

III.- **La prevención y control de la contaminación atmosférica** generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, así como por fuentes móviles, que conforme a lo establecido en esta Ley no sean de competencia Federal;

[...]

ARTÍCULO 8o.- Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

I.- La formulación, conducción y evaluación de la política ambiental municipal; II.- La aplicación de los instrumentos de política ambiental previstos en las leyes locales en la materia y la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en bienes y zonas de jurisdicción municipal, en las materias que no estén expresamente atribuidas a la Federación o a los Estados;

III.- La aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de **prevención y control de la contaminación atmosférica** generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles o de servicios, así como de emisiones de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes móviles que no sean consideradas de jurisdicción federal, con la participación que de acuerdo con la legislación estatal corresponda al gobierno del estado;

[...]

CAPÍTULO II

Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera

ARTÍCULO 110.- Para la protección a la atmósfera se considerarán los siguientes criterios:

I. La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país; y

II. Las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

ARTÍCULO 111.- Para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera, la Secretaría tendrá las siguientes facultades:

I.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan la calidad ambiental de las distintas áreas, zonas o regiones del territorio nacional, con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud;

II.- Integrar y mantener actualizado el inventario de las fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera de jurisdicción federal, y coordinarse con los gobiernos locales para la integración del inventario nacional y los regionales correspondientes;

III.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan por contaminante y por fuente de contaminación, los niveles máximos permisibles de emisión de olores, gases así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera provenientes de fuentes fijas y móviles;

IV.- Formular y aplicar programas para la reducción de emisión de contaminantes a la atmósfera, con base en la calidad del aire que se determine para cada área, zona o región del territorio nacional. Dichos programas deberán prever los objetivos que se pretende alcanzar, los plazos correspondientes y los mecanismos para su instrumentación;

V.- Promover y apoyar técnicamente a los gobiernos locales en la formulación y aplicación de programas de gestión de calidad del aire, que tengan por objeto el cumplimiento de la normatividad aplicable;

VI.- Requerir a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción federal, el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 37 de la presente Ley, su reglamento y en las normas oficiales mexicanas respectivas;

VII.- Expedir las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire;

VIII.- Expedir las normas oficiales mexicanas para la certificación por la autoridad competente, de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas;

IX. Expedir, en coordinación con la Secretaría de Economía, las normas oficiales mexicanas que establezcan los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera, provenientes de vehículos automotores nuevos en planta y de vehículos automotores en circulación, considerando los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud;

X.- Definir niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera por fuentes, áreas, zonas o regiones, de tal manera que no se rebasen las capacidades de asimilación de las cuencas atmosféricas y se cumplan las normas oficiales mexicanas de calidad del aire;

XI.- Promover en coordinación con las autoridades competentes, de conformidad con las disposiciones que resulten aplicables, sistemas de derechos transferibles de emisión de contaminantes a la atmósfera;

XII.- Aprobar los programas de gestión de calidad del aire elaborados por los gobiernos locales para el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas respectivas;

XIII.- Promover ante los responsables de la operación de fuentes contaminantes, la aplicación de nuevas tecnologías, con el propósito de reducir sus emisiones a la atmósfera, y

XIV.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan las previsiones a que deberá sujetarse la operación de fuentes fijas que emitan contaminantes a la atmósfera, en casos de contingencias y emergencias ambientales.

ARTÍCULO 111 BIS.- Para la operación y funcionamiento de las fuentes fijas de jurisdicción federal que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, se requerirá autorización de la Secretaría.

Para los efectos a que se refiere esta Ley, se consideran fuentes fijas de jurisdicción federal, las industrias química, del petróleo y petroquímica, de pinturas y tintas, automotriz, de celulosa y papel, metalúrgica, del vidrio, de generación de energía eléctrica, del asbesto, cementera y calera y de tratamiento de residuos peligrosos.

El reglamento que al efecto se expida determinará los subsectores específicos pertenecientes a cada uno de los sectores industriales antes señalados, cuyos establecimientos se sujetarán a las disposiciones de la legislación federal, en lo que se refiere a la emisión de contaminantes a la atmósfera.

ARTÍCULO 112.- En materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, los gobiernos de los Estados, del Distrito Federal y de los Municipios, de conformidad con la distribución de atribuciones establecida en los artículos 7o., 8o. y 9o. de esta Ley, así como con la legislación local en la materia:

I.- Controlarán la contaminación del aire en los bienes y zonas de jurisdicción local, así como en fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, comerciales y de servicios, siempre que no estén comprendidos en el artículo 111 BIS de esta Ley;

II.- Aplicarán los criterios generales para la protección a la atmósfera en los planes de desarrollo urbano de su competencia, definiendo las zonas en que sea permitida la instalación de industrias contaminantes;

III.- Requerirán a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción local, el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, de conformidad con lo dispuesto en el reglamento de la presente Ley y en las normas oficiales mexicanas respectivas;

IV.- Integrarán y mantendrán actualizado el inventario de fuentes de contaminación;

V. Establecerán y operarán sistemas de verificación de emisiones de automotores en circulación;

VI.- Establecerán y operarán, con el apoyo técnico, en su caso, de la Secretaría, sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Los gobiernos locales remitirán a la Secretaría los reportes locales de monitoreo atmosférico, a fin de que aquélla los integre al Sistema Nacional de Información Ambiental;

VII. Establecerán requisitos y procedimientos para regular las emisiones del transporte público, excepto el federal, y las medidas de tránsito, y en su caso, la suspensión de circulación, en casos graves de contaminación;

VIII. Tomarán las medidas preventivas necesarias para evitar contingencias ambientales por contaminación atmosférica;

IX. Elaborarán los informes sobre el estado del medio ambiente en la entidad o municipio correspondiente, que convengan con la Secretaría a través de los acuerdos de coordinación que se celebren;

X.- Impondrán sanciones y medidas por infracciones a las leyes que al efecto expidan las legislaturas locales, o a los bandos y reglamentos de policía y buen gobierno que expidan los ayuntamientos, de acuerdo con esta Ley;

XI.- Formularán y aplicarán, con base en las normas oficiales mexicanas que expida la Federación para establecer la calidad ambiental en el territorio nacional, programas de gestión de calidad del aire, y

XII.- Ejercerán las demás facultades que les confieren las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.

ARTÍCULO 113.- No deberán emitirse contaminantes a la atmósfera que ocasionen o puedan ocasionar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente. En todas las emisiones a la atmósfera, deberán ser observadas las previsiones de esta Ley y de las disposiciones reglamentarias que de ella emanen, así como las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría.

Sustentado en esto el H. Congreso del Estado de Michoacán emitió la ley ambiental y de protección del patrimonio natural del estado de Michoacán de Ocampo la cual nos señala:

Artículo 2º.- La presente Ley tiene como objeto proteger el ambiente, conservar el patrimonio natural, propiciar el desarrollo sustentable del Estado, y establecer las bases para:

I. Tutelar, en el ámbito de jurisdicción estatal, el derecho de toda persona a disfrutar de un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar;

II. Prevenir y controlar la contaminación del aire, el agua y el suelo, y conservar el patrimonio natural de la sociedad en el territorio del Estado;

III. Ejercer las atribuciones que en materia ambiental correspondan al Estado y sus municipios, de conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al

Ambiente, así como en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y demás ordenamientos aplicables en la materia;

IV. El diseño, desarrollo y aplicación de instrumentos económicos que promuevan el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental mediante la conservación, restauración, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como para la prevención de la contaminación y la protección al ambiente en el Estado;

[...]

Artículo 3°.- Se consideran de utilidad pública:

I. El ordenamiento ecológico del territorio del Estado, así como las acciones necesarias para su cumplimiento;

II. El establecimiento y la administración del Sistema Estatal de Áreas para la Conservación del Patrimonio Natural, así como de las zonas de restauración ambiental;

III. La formulación y ejecución de acciones de protección y conservación de la diversidad biológica y el mantenimiento de los recursos genéticos de la flora y fauna silvestre ubicada en las zonas sobre las que el Estado ejerce su jurisdicción;

IV. La conservación de la diversidad biológica y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a fin de hacer compatible la generación de beneficios económicos con la conservación de los ecosistemas;

V. La prevención y control de la contaminación ambiental del aire, el agua y el suelo;

[...]

Capítulo III

De la Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera

Sección I

Disposiciones Generales

Artículo 107.- Para prevenir y controlar la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, así como prever y reducir al mínimo las causas del cambio climático y mitigar sus efectos adversos, se considerarán los siguientes criterios:

I. La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del Estado;

II. Las emisiones de contaminantes a la atmósfera, fijas o móviles, deberán ser controladas para asegurar una calidad del aire necesaria para el bienestar de la población y la protección del ambiente;

III. Al Estado, a los municipios y a la sociedad les corresponde la protección de la calidad del aire;

IV. Considerar programas de reforestación, verificación de las emisiones contaminantes, desarrollo de tecnologías limpias apegadas a criterios ambientales y protección del suelo, en busca de la ecoeficiencia, a fin de mantener la integridad de los componentes de la atmósfera; y,

VI. Las medidas necesarias para hacer frente al cambio climático deben basarse en consideraciones pertinentes de orden científico, técnico y económico, y reevaluarse continuamente conforme a los avances en la materia.

Artículo 108.- La Secretaría y los ayuntamientos, dentro de su competencia, llevarán a cabo las siguientes funciones:

I. Controlar la contaminación del aire en los bienes y las zonas de jurisdicción estatal o municipal, así como en fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, comerciales o de servicios, en el ámbito de sus respectivas competencias;

II. Aplicar los criterios generales que establece esta Ley para la protección a la atmósfera, en los programas de desarrollo urbano de su competencia;

III. Requerir a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción estatal o municipal, para que no excedan los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, de conformidad con lo dispuesto en el Reglamento, en las normas oficiales mexicanas respectivas y en las normas ambientales estatales;

IV. Establecer y operar sistemas de monitoreo de la calidad del aire, utilizando para ello los dispositivos tecnológicos que cumplan con las normas oficiales mexicanas y normas ambientales estatales;

V. Integrar y mantener actualizados los sistemas estatales y nacionales de información ambiental que se establezcan, así como los reportes de monitoreo ambiental;

VI. Formular y aplicar programas de gestión de calidad del aire con base en las normas oficiales mexicanas y normas ambientales estatales para establecer la calidad ambiental en el territorio del Estado;

VII. Promover ante los responsables de la operación de fuentes contaminantes, la aplicación de tecnologías limpias, ambientalmente compatibles o ecoeficientes, con el propósito de reducir o eliminar sus emisiones a la atmósfera;

VIII. Promover en coordinación con las autoridades competentes, de conformidad con las disposiciones que resulten aplicables, sistemas de derechos transferibles de emisión de contaminantes en la atmósfera; y,

IX. Ejercer las demás facultades que les confieren esta Ley y los demás ordenamientos aplicables.

[...]

Artículo 176.- En el Estado se consideran de interés público los bienes y servicios ambientales en general y podrán ser susceptibles de reconocimiento y compensación:

I. El paisaje natural;

II. La diversidad biológica;

III. El agua y el aire limpios;

IV. El suelo fértil;

V. La polinización; y,

VI. La reducción de emisiones de gases de invernadero a la atmósfera.

[...]

Capítulo V

De la Responsabilidad por Daños al Ambiente

Artículo 207.- Se entiende por daño ambiental el que ocurre sobre el bien jurídico medio ambiente como consecuencia de la contaminación, la realización de actividades riesgosas, el manejo de materiales o residuos peligrosos, la sobre explotación de los recursos naturales o la manipulación genética de organismos vivos cuyos efectos sobre el aire, el agua, el suelo o la diversidad biológica son de tal magnitud que impiden en forma permanente que uno o más de dichos elementos desarrollen las funciones ambientales que en condiciones normales desempeñan en un sistema ambiental determinado.

Es el artículo 108 de esta ley en donde este trabajo encuentra sustento legal y además se vislumbra la posibilidad de sugerir integrar esta metodología alternativa de medición de la contaminación ambiental como parte de la norma estatal, ya que en su fracción cuarta habla de que se podrán utilizar “dispositivos tecnológicos que cumplan con las normas oficiales mexicanas y normas ambientales estatales”.

El H. Ayuntamiento en su plan municipal de desarrollo 2012-2015 en su línea de acción 6 toma la agenda verde y señala:

6. Morelia verde, ordenado y joven: sustentabilidad ambiental, equilibrio y conservación del entorno.

Para lograr un Morelia verde y ordenado es indispensable revisar, adecuar y observar el Plan de Desarrollo Urbano, así como el Ordenamiento Ecológico del Territorio. Un crecimiento ordenado de la ciudad, aunado a un adecuado desarrollo de las tenencias, es el principal mecanismo para reforzar la concepción de un Morelia verde. Por ello, habremos de fortalecer las prácticas sustentables y tomar acciones decididas para lograr armonía con la naturaleza y consolidar un Morelia Verde. Un Morelia que tenga calidad de vida y brinde bienestar a las presentes y futuras generaciones. Por ello, habremos de vertebrar a las visiones sustentables todas las licencias y autorizaciones que se expiden.

En esta lógica, los trabajos de capacitación, concientización y colaboración de los jóvenes nos permite trazar metas en el futuro y realizar acciones para hacer de nuestro municipio un agradable lugar para vivir.

Diagnóstico

El cuidado del ambiente requiere la participación de jóvenes organizados y conscientes de temas como el calentamiento global, la disposición de agua, la deforestación, los patrones de producción y consumo, así como los principios y valores que sustentan a esta sociedad. Tomando en cuenta que el rango de 10 a 29 años de edad se registra en el orden del 37.9% de la población moreliana, la participación juvenil debe ser prioritaria en los tres órdenes de gobierno así como la atención de sus necesidades. De acuerdo con el Subíndice de Manejo Sustentable del Medio Ambiente del IMCO, el municipio de Morelia se ubicó en el grupo de competitividad Baja en el informe de 2012, marcando un retroceso, ya que en los informes 2010 y 2008 se encontró en la categoría Media Baja.

De los componentes de este subíndice que califica la capacidad de las ciudades para interactuar de manera sostenible con el entorno natural en el que se ubican y aprovechar los recursos naturales de los que disponen, podremos mencionar los relacionados con gestión de recursos como el agua y el manejo de los residuos que se producen.

[...]

6.3. Indicadores de control de la contaminación ambiental y su impacto en el municipio.

Es muy importante cuidar el medio ambiente en la zona rural de Morelia porque sus efectos fácilmente afectan o benefician a la ciudad. Principalmente, debemos cuidar la zona rural que son importantes pulmones de la ciudad y zonas de recarga de mantos acuíferos, de igual manera la aglomeración de personas, vehículos, comercios, empresas, industrias provoca una intensa contaminación: del aire, del agua, visual, auditiva e incluso de tierras. El panorama se agrava por lo que es urgente contar con un sistema integral de indicadores ambientales que permitan tomar medidas para cuidar el entorno.

Acciones específicas:

6.3.1. Consolidar y promover la operación del Observatorio Urbano de Morelia.

6.3.2. Muestreo y registro permanente de la calidad del aire y de los contaminantes de la atmósfera.

[...]