



**El Colegio
de la Frontera
Norte**

**ESTIMACIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO EN
MATERIA DE SALUD POR REDUCCIONES DE
OZONO Y PM₁₀ EN MEXICALI:**

Un enfoque de costos evitados

Tesis presentada por

Esmeralda Torillo Portilla

para obtener el grado de

MAESTRA EN ECONOMÍA APLICADA

Tijuana, B. C., México

2008

DEDICATORIA

*“Sólo hay un bien: El conocimiento.
Sólo hay un mal: La ignorancia”*

Sócrates

A MIS PADRES Y A XIMENA



AGRADECIMIENTOS

A mis padres Agustín Torillo y Rosalinda Portilla, por su amor y apoyo incondicional en cada momento de mi desarrollo profesional y humano.

A mis hermanos, Octavio, Alma, Sandra, Cuauhtémoc y Perla.

A Ximena Torillo

A mis Amigas Diana Sansores, Fabiola Galicia, Adialuz León, Angelita Ruvalcaba y Mónica Chávez, Rosa María

A Niall Kinsella

A mi director Carlos A. de la Parra Rentería por ser mi guía y apoyo en la realización de la presente tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Conacyt por la beca proporcionada para la realización de mi Maestría en Economía Aplicada, El colegio de la Frontera Norte por brindarme las herramientas que fortalecieron y ampliaron mi formación profesional y Gudelia Rangel por su apoyo en la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE

I.INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema _____	4
1.2. Estándares de la calidad del aire _____	5
1.3 Las causas _____	6
1.4. Efectos de la calidad del aire en la salud humana _____	7
1.5. Objetivo del estudio _____	8
1.4. Organización de la tesis _____	9
II. CONTEXTUALIZACIÓN TEÓRICA	11
2.1. Calidad del aire _____	13
2.1.1. La atmósfera _____	13
2.1.2. Capas de la atmósfera _____	14
2.1.3. Procesos físico-químicos en la atmósfera _____	15
2.1.4. La transformación de contaminantes _____	16
2.1.4.1 Ozono _____	18
2.1.5. Principales fuentes de emisión _____	18
2.2. Epidemiología: Correlación entre exposición a un contaminante y sus efectos en la salud _____	19
2.2.1. Asma _____	19
2.2.2. Evidencia de los efectos de la contaminación en la salud humana _____	21
2.3. Metodologías económicas: Valoración monetaria de los efectos de la contaminación del aire en la salud humana _____	23
2.3.1. Estimación del valor de reducir morbilidad _____	23
2.3.2. Modelo básico de producción de salud y elección _____	24
III. SITUACIÓN ACTÚAL DE MEXICALI	32
3.1 Situación Económica de Mexicali _____	32
3.1.2 Población _____	34
3.2. Situación actual de la calidad del aire en Mexicali _____	36
3.3. Panorama epidemiológico de Mexicali _____	40

3.3.1. Prevalencia de asma _____	40
3.3.2. Población derechohabiente al sistema de salud en Mexicali _____	41
IV. MODELOS DOSIS-RESPUESTA.....	44
4.1. Descripción de las variables _____	44
4.1.1. Fuentes de información _____	44
4.2. Las variables _____	47
4.2.1. Relaciones entre las variables _____	51
4.3. Modelos dosis-respuesta de largo plazo _____	58
4.3.1. Modelos dosis-respuesta de corto plazo _____	59
4.4 Resultados _____	60
V. COSTOS SOCIALES DE LA CONTAMINACIÓN	68
5.1 Estimación de la variación del número de nuevos casos de asma y padecimiento asmático _____	68
5.1. Costos económicos _____	70
5.1.1 Costos directos _____	71
5.1.2. Costos indirectos _____	72
5.2. Asignación del valor monetario de los costos económicos en términos del PIB de Mexicali _____	75
VI. DISCUSIÓN.....	78
6.1. El camino _____	78
6.2. Los hallazgos _____	80
6.3. Las principales fuentes de contaminación _____	81
6.4. Alternativas de acción _____	82
A) Control de la contaminación _____	83
B) Medidas preventivas del sector Salud. _____	84
6.5. Conclusiones _____	85
Referencias bibliográficas.....	86
ANEXO 1: Gráficas de las variables utilizadas en los modelos dosis-respuesta de Mexicali: 2004-2007	i

ÍNDICE DE CUADROS GRÁFICAS Y FIGURAS

Cuadro 1. Clasificación de las ciudades por contaminante (2005)	5
Cuadro 1.2. Valores normados para los contaminantes del aire en México	6
Cuadro 1.3. Contaminantes atmosféricos: fuentes de emisión y efectos en la salud humana	8
Figura 1. Metodología integrated assessment	12
Cuadro 2.1. Composición típica de la atmósfera limpia a nivel del mar	13
Figura 2. Capas de la atmósfera	15
Figura 3. Relación entre emisiones, concentraciones e impactos de los contaminantes	17
Gráfica 3.1. Mexicali: distribución por género de la PEA y, PEI.	33
Cuadro 3.1. Población económicamente activa por actividad, Mexicali 2000	34
Cuadro 3.2. Crecimiento poblacional Mexicali 1950-2000	35
Grafico 3.2. Mexicali 2005: distribución de la población por grupo de edad	35
Cuadro 3.3. Clasificación de las ciudades por contaminante (2005)	36
Cuadro 3.4. Días por arriba de la norma de ozono, Mexicali 2004	37
Grafico 3.2.1. Inventario de emisiones Mexicali, 1996	38
Grafico 3.2.2. Inventario de emisiones sector transporte: Mexicali, 1996	39
Grafico 3.2.3. Estaciones de monitoreo de calidad de aire de Mexicali	40
Cuadro 3.5. Tasa de prevalencia por grupos etarios: Mexicali 2004-2007	41
Grafico 3.3.1. Porcentaje de la población derechohabiente y no a servicios de salud en Mexicali	42
Cuadro 4.1.1. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007	48
Cuadro 4.1.2. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007 grupo etario de 0 a 4 años de edad	49
Cuadro 4.1.3. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007 grupo etario de 5 a 14 años de edad	50
Cuadro 4.1.4. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007 grupo etario de 15 a 64 años de edad	50
Cuadro 4.1.5. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007 grupo etario de 65 años y más de edad	51
Cuadro 4.2.1: Pruebas de raíz unitaria y de estacionariedad: asma por grupos etarios	53
Cuadro 4.2.2. Pruebas de raíz unitaria y de estacionariedad ozono, PM ₁₀ , temperatura y humedad relativa	54
Cuadro 4.3. Modelos dosis-respuesta de corto plazo	61
Cuadro 4.3. Modelos dosis-respuesta de corto plazo del grupo etario de asma de 0 a 4 años	63
Cuadro 4.5. Modelos de corto plazo de los grupos etarios: 5 a 14, 15 a 64 y 65 años y más de asma	64

Cuadro 4.6. Resumen de elasticidades de corto plazo de todos los grupos etarios del ozono y PM ₁₀	65
Cuadro 5.1: Suma del número de casos nuevos de asma y padecimiento asmático, Mexicali 2004-2007	69
Cuadro 5.2: Número de casos evitados de asma ante reducciones del PM ₁₀ y ozono	70
Cuadro 5.3. Costos directos reales por beneficiario	71
Cuadro 5.4. Costos directos reales de incidencia de asma anual de Mexicali 2004-2007	72
Cuadro 5.5. Costo diario de ausentismo laboral y actividad restringida en Mexicali 2004-2007	73
Cuadro 5.6. Casos de asma evitados bajo tres escenarios de disminución de los niveles ozono y PM ₁₀ , Mexicali 2004-2007	73
Cuadro 5.7. Costos indirectos evitados anuales de asma por grupo etario Mexicali 2004-2007	74
Cuadro 5.8. Costos directos e indirectos anuales, Mexicali 2004-2007	75
Cuadro 5.9. Costos económicos anuales, Mexicali 2004-2007	76

RESUMEN

La presente tesis se enfoca en una de las ciudades que padecen una situación crítica de afecciones a la salud de asma provocada por la contaminación atmosférica, Mexicali, Baja California. El objetivo de la presente investigación es calcular los beneficios económicos que pudieran obtenerse si la calidad del aire mejorara. Con base en las funciones dosis-respuestas por grupos etarios, se estimó el número de casos que podrían ser evitados, en lo que llamamos escenarios bajo, medio y alto, si las emisiones de ozono y PM10 disminuyeran. Los beneficios están medidos en términos de los costos económicos evitados de nuevos casos de asma. Los costos económicos (directos e indirectos) equivalente a este número de nuevos casos evitados de asma representarían, a grosso modo, los beneficios económicos que la sociedad de Mexicali podría gozar si se cumplen los escenarios planteados. Los costos directos evitados de asma se estimaron en términos reales anuales, los resultados muestran que en el escenario bajo en poco más de \$4.6 millones de pesos; en el escenario medio en casi \$7.7 millones, y el escenario alto en casi \$15.4 millones de pesos.

ABSTRACT

The focus of this Thesis centers around the harmful effect of atmospheric contamination on the level of asthma related cases in the city of Mexicali (Baja, California). The primary objective of this work is to ascertain the actual economic benefit that would arise in the event of an improvement in the city's air quality. The reduction in the number of asthma related cases during a specified period as effected by a 15% (worst case scenario), 25% (medium case scenario) and 50% (best case scenario) reduction in the level of ozone and PM10 emissions respectively was calculated utilizing dose-response functions. This calculation yielded a 2%, 4% and 7% reduction in the level of asthma cases respectively.

The economic benefits here are derived in terms of economic cost associated with the avoidance of additional asthma cases (Economic cost being equivalent to the quantity of additional asthma cases avoided as contamination diminishes). The direct economic cost (9,417.14 pesos per beneficiary per annum as derived by the SSA) is comprised of both asthma treatment expense and the cost of diagnosis. In real annual terms, the resultant direct cost was calculated as 4.6 million pesos, 7.7 million pesos and 15.4 million pesos in the worst, middle and best case scenarios respectively. In terms of Mexicali GDP as at 2004, this translates to 2.4%, 4%, and 8% of GDP respectively.

I.INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire se ha convertido en un tema de agenda política en todo el mundo. Es un tema estrechamente vinculado a la problemática de calentamiento global, y sus principales causas son antropogénicas, es decir son causadas por comportamiento humano y específicamente tanto por los procesos productivos industriales que representan las fuentes fijas, como las móviles (vehículos de motor). La contaminación del aire es causa de enfermedades y muertes alrededor del mundo, especialmente en áreas urbanas donde el fenómeno empeora día con día (Moore, 2006). Los procesos de urbanización e industrialización, asimilados ya en casi todas las sociedades del mundo, generan beneficios diversos y modernidad, pero también producen efectos negativos que repercuten en costos económicos muy significativos para la sociedad.

Las causas, los factores y las relaciones que condicionan los problemas de contaminación del aire y su incidencia sobre la salud humana exigen la aplicación del conocimiento de diversas disciplinas para guiarnos en el análisis del problema. A efecto de incorporar al marco del entendimiento de la economía los fenómenos de contaminación y del manejo de recursos naturales es que fue creciendo una rama particular de la economía conocida como economía ambiental. Esta rama de estudio se ha enfocado principalmente en crear fórmulas que permitan balancear la viabilidad económica de cualquier actividad con la conservación de ecosistemas, utilizando parámetros que midan la salud del ambiente. El objetivo es mitigar los efectos colaterales de la dinámica económica, intentando mantener un equilibrio entre las actividades económicas y la protección de la biosfera.

El presente estudio incursiona no sólo en temas de contaminación, sino en los efectos que ésta tiene sobre la salud pública y, como fin último, los costos económicos que ello representa para una sociedad. En este sentido, el estudio es eminentemente multidisciplinario, y por ello descansará sobre tres marcos teóricos que en la práctica, durante las últimas décadas, han mostrado solidez en la aplicación de sus principios: ciencias de la atmósfera, salud pública, y teoría económica.

Dicho en forma sintética, la presente investigación identifica los beneficios económicos que pudiéramos obtener en cualquier ciudad si la calidad del aire en la misma mejorara, medida en términos del número de casos nuevos evitados de asma. Específicamente, se plantearon tres escenarios (bajo, medio y alto) de reducción de los niveles de contaminación atmosférica que pudieran presentarse en una ciudad caso elegida, reconocida por su pobre calidad de aire en la región fronteriza de México con Estados Unidos, para cuantificar en términos monetarios las diferencias que ocurrirían en (1) los gastos médicos asociados al tratamiento, y (2) el monto de salarios perdidos por días no laborados producto de padecimiento de asma. La suma de costos asociados a lo anterior podría así ser considerada como una cifra representativa de los beneficios económicos potenciales que disfrutaría una sociedad, en caso de que la calidad de aire mejorara en su lugar de residencia.

El costo social de la contaminación atmosférica se puede cuantificar a partir de analizar y estimar la relación causa-efecto del impacto de la calidad del aire en la población asmática y su valoración monetaria de los costos económicos que ésta conlleva. Cabe mencionar que existen diversos estudios los cuales analizan de forma parcial la cadena causa-efecto, a diferencia de estos la presente tesis aborda de manera integral la problemática mencionada.

La recopilación de la información utilizada se obtuvo de diversas fuentes, se utilizaron datos del INEGI, BANXICO, SINAICA, CARB, DGICURG y Dirección General de Epidemiología de Mexicali¹, se compiló una base de datos que incorpora variables ambientales, epidemiológicas, sociodemográficas y económicas. La información recabada sirvió para estimar las relaciones establecidas en la cadena causa-efecto en la que se vincula, en un primer momento, las elasticidades o sensibilidades entre contaminación del aire (ozono y PM_{10}) y enfermedad, específicamente de asma a través de las funciones dosis-respuesta considerando la edad de la población afectada, por grupos etarios controlando por temporada de frío y calor.

¹ La descripción detallada de las variables obtenidas en cada fuente de información se encuentra en el capítulo 4 en la descripción de los datos.

La metodología empleada para estimar las funciones dosis-respuesta está sustentada en los modelos de corrección de errores (ECM). La característica principal de los ECM es la noción de equilibrio en el largo plazo, y la introducción de sus desequilibrios pasados como variable explicativa que incorpora los efectos de las variables omitidas en la ecuación de largo plazo en el comportamiento dinámico de las variables. Posteriormente se plantearon tres escenarios de reducción de los niveles de ozono y PM_{10} , con la finalidad de obtener la variación de nuevos casos de asma si los niveles de contaminación disminuyeran en un 15, 25 o 50 por ciento con base en las funciones dosis-respuesta. Finalmente se estimaron en términos monetarios los costos económicos de dichas variaciones.

El costo económico del asma incide de forma directa a la sociedad y a los servicios de salud. De acuerdo con datos de Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que el costo económico asociado al asma excede a la suma del gasto utilizado en tuberculosis, VIH y SIDA a nivel mundial (OMS, 2008). El número de casos nuevos evitados de asma traducidos en sus costos económicos reales en términos del producto interno bruto, de Mexicali del año 2004 calculados en la presente investigación, representan el 2.4 por ciento en un escenario conservador de contaminación, el 4 por ciento en el escenario medio y el 7.9 en el escenario de mayor reducción de contaminantes.

Cabría agregar que los costos económicos obtenidos en el presente estudio subestiman los beneficios reales para dicha población, pues no están incluidos (3) el valor de las medidas preventivas de enfermedad adoptadas por la población, como tampoco (4) el valor del tiempo de ocio que pierde un individuo al encontrarse enfermo (Freeman III, 1999)². Los elementos incluidos en el análisis de costo se ciñen a estimaciones que se obtuvieron basadas únicamente en el costo de oportunidad, ampliamente utilizadas en este tipo de trabajos.

² La decisión de no incluir estos dos últimos conceptos obedece a las limitaciones del tiempo con el que contamos para realizar la presente investigación, ya que para poder contemplarlos sería necesario utilizar la técnica de valoración contingente que requiere elaboración de encuestas aplicadas a la población estudiada.

1.1. Descripción del problema

La ubicación del Valle de Mexicali y la colindancia con el Valle Imperial, en cuyo territorio se encuentran asentadas las ciudades de Calexico, El Centro y Brawley, hacen que se considere a la región como una cuenca atmosférica única, de carácter internacional (INE, 2000). Mexicali padecen una situación crítica de afecciones a la salud por contaminación atmosférica, el costo económico de esta morbilidad no ha sido lo suficientemente reconocido o estudiado, y mucho menos relacionado con un problema de contaminación atmosférica, tema que desborda el ámbito meramente ambiental o tecnológico. Se trata de un problema en materia de salud para la población en general, y por ende con un componente clave de carácter social y económico que deberá considerarse al plantear alternativas de solución

El desarrollo y evolución de Mexicali ha traído como consecuencia que la calidad del aire se haya deteriorado en los últimos años debido al número de vehículos altamente contaminantes, a las deficiencias en sus redes viales y de pavimentación y a la espera de los vehículos automotores en los puentes o cruces fronterizos generan un volumen significativo de contaminación.

Actualmente los niveles de contaminación registrados en el 2005 para nueve ciudades de México de gases y partículas que rebasan el límite establecido en las normas de calidad de aire en México, muestran que Mexicali ocupa el primer lugar de emisiones de Monóxido de Carbono, de PM₁₀ (partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor de 10 micras) y sexto lugar en ozono (O₃). (Ver cuadro 1)

Cuadro 1. Clasificación de las ciudades por contaminante (2005)

Contaminante	ZMVM	ZMG	ZMVT	PUEBLA	SALAMANCA	ZMM	CIUDAD JUAREZ	TIJUANA	MEXICALI
PM10	6°	5°	2°	8°	NA	3°	4°	7°	1°
O ₃	1°	2°	4°	7°	NA	3°	5°	8°	6°
CO	5°	2°	4°	8°	NA	6°	3°	7°	1°
SO ₂	2°	5°	3°	6°	1°	4°	NA	8°	7°
NO ₂	2°	1°	4°	7°	NA	6°	NA	5°	3°

NA: no aplica

Fuente: Zuk, Tzinzum, Rojas, 2007

Estudios revelan que exposiciones a ozono en concentraciones superiores de 0.08 partes por millón (ppm), como promedio móvil de 8 horas, y a niveles de PM₁₀ entre 30 y 150 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pueden provocar reducciones en el volumen de espiración, incrementos en las enfermedades respiratorias agudas, decrementos en el flujo espiratorio máximo (peak-flow) en niños normales, e incrementos en la demanda de tratamientos médicos tanto en niños como en adultos con asma (Kleinman, 2000). En Mexicali, el promedio móvil de 8 horas de Ozono rebasó la norma en 6, 13, 12 y 4 veces en los años 2004, 2005, 2006 y 2007 respectivamente, alcanzando niveles hasta de 0.43 (ppm) en la primera semana del 2005. En cuanto a los niveles de PM₁₀, el promedio aritmético semanal alcanzó niveles de 296 (mg/m^3) en la treceava semana del 2004.

1.2. Estándares de la calidad del aire³

En general las normas de calidad del aire se establecen con base en a los resultados de estudios toxicológicos y epidemiológicos que evalúan la relación entre la exposición a un contaminante y sus efectos en la salud. Cuando existe una concentración umbral, un nivel abajo del cual no se identifican impactos en la salud, se toma esa concentración como el límite permisible. Sin embargo, para algunos contaminantes, como las partículas

³ Las Normas Oficiales Mexicanas sobre Calidad del Aire fueron publicadas por la Secretaría de Salud en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1994, con una modificación para la norma de ozono publicada el 30 de octubre de 2002, en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y con la participación de representantes de la academia, de los sectores productivos y de grupos ambientalistas..

suspendidas, aún no se han detectado umbrales para algunos efectos en la salud; de hecho, se han encontrado impactos en la salud aun a niveles muy bajos (Pope et al., 2002). El cuadro 1.2. muestra los valores límite para los contaminantes del aire en México, de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) correspondientes.

Cuadro 1.2. Valores normados para los contaminantes del aire en México

Contaminante	Valores límite				Normas Oficiales Mexicanas	
	Exposición aguda		Frecuencia máxima aceptable	Exposición crónica		
	Concentración promedio	y tiempo			(Para protección de la salud de la población susceptible)	
Ozono (O ₃)	0.11ppm (1hora) (216 µg/m ³)		1 vez al año	-		NOM-020-SSA1-1993(2)
	0.08 ppm (8 horas)		Quinto máximo en un año			
Monóxido de carbono (CO)	11ppm(8horas) (12595 µg/m ³)		1 vez al año	-		NOM-021-SSA1-1993(1)
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.13ppm(24horas) (341 µg/m ³)		1 vez al año	0.03ppm (media aritmética anual)		NOM-022-SSA1-1993(1)
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1hora) (395 µg/m ³)		1 vez al año	-		NOM-023-SSA1-1993(1)
Partículas suspendidas totales (PST)	210µg/m ³ (percentil promedio de 24 Horas)	98	24 horas	-		NOM-024-SSA1-1993(3)
Partículas con diámetro menor a 10 µm (PM10)	120µg/m ³ (percentil promedio de 24 Horas)	98	24 horas	50µg/m ³ (promedio aritmético anual)		NOM-025-SSA1-1993(3)
Partículas con diámetro menor a 2.5µm (PM2.5)	65µg/m ³ (percentil promedio de 24 Horas)	98	24 horas	15µg/m ³ (promedio aritmético anual)		NOM-025-SSA1-1993(3)
Plomo (Pb)	-		-			

Fuente: <http://sinaica.ine.gob.mx/estandares.html>

1.3 Las causas

Los problemas de calidad del aire en Mexicali provienen principalmente de tres tipos de fuentes: móviles, fijas y por la producción de energía. Las emisiones provenientes de fuentes móviles, "son la principal fuente de contaminantes en Mexicali, ya que los vehículos que circulan por la ciudad en su mayoría son vehículos de importación, los cuales suelen contar con condiciones pésimas de funcionamiento. Con base en datos reportados por la Semarnap- Ine en 1999 el parque vehicular de Mexicali está compuesto en su mayoría por vehículos de uso particular. Uno de los problemas que representan el parque vehicular es la edad del mismo, pues está compuesto por vehículos a edad de más del 45%

del parque vehicular corresponde a modelos 1980 y anteriores, 48% son modelos de 1981 a 1990 y casi el 4% es de modelo 1991 y posteriores” (SEMARNAP- INE, 1999)

1.4. Efectos de la calidad del aire en la salud humana

Los efectos de la calidad del aire en la salud humana dependen de las características y de los niveles de concentración en el aire de los contaminantes criterios⁴, su composición química, así como del tiempo de exposición y de la susceptibilidad del individuo. Se puede distinguir dos tipos de exposición; la crónica, relacionada con los efectos en la salud por exposición constante a niveles de contaminación por largos periodos de tiempo (años); y la exposición aguda, cuando el tiempo de exposición es corto (días u horas) pero los niveles de contaminación son altos, a lo cual se le conoce como exposiciones “pico” (Zuk, Tzinzum y Rojas, 2007).

No debemos olvidar que cada persona tiene un riesgo específico a la exposición de contaminantes, el cual está determinado por la predisposición genética, la edad, el estado nutricional, la presencia y severidad de condiciones cardíacas y respiratorias, el uso de medicamentos, así como la actividad y el lugar de trabajo (tiempo de permanencia en diferentes microambientes o patrones de conducta). Sin embargo, se han identificado tres grupos de la población con mayor riesgo a la exposición de contaminantes: 1. niños menores de 5 años; 2. adultos mayores de 65 años; y 3. las personas con enfermedades cardíacas y respiratorias y asmáticos (PROAIRE ZMVM 2002-2010).

Los efectos más estudiados en relación con la exposición aguda a los contaminantes atmosféricos son los cambios en la función pulmonar, el aumento de síntomas respiratorios y la mortalidad y la morbilidad⁵ también está asociada con la exposición aguda a los

⁴ Internacionalmente, los contaminantes del aire se han clasificado en contaminantes criterio y contaminantes peligrosos del aire (CPA), los segundos son un conjunto de compuestos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud humana, tales como los compuestos orgánicos volátiles (COV). Los contaminantes criterio se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos han sido adoptado en muchos países y, en general, comprende los siguientes contaminantes: partículas suspendidas (PM), ozono (O₃), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂), bióxido de nitrógeno (NO₂) y plomo (Pb).

⁵ Número de egresos hospitalarios según afección principal y características relacionadas en el año de referencia en las unidades del Sistema Nacional de Salud,

contaminantes. Las enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior, bronquitis, neumonía y enfermedades pulmonares obstructivas, son un ejemplo de la morbilidad asociada a la exposición aguda, (PROAIRE ZMVM 2002-2010). Ver cuadro 1.3.

Cuadro 1.3. Contaminantes atmosféricos: Fuentes de emisión y efectos en la salud humana

Contaminantes	Fuentes de emisión	Efectos en la salud humana
Partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor de 10 micras (PM10), también conocidas como partículas “inhalables”, y partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor de 2.5 micras (PM2.5), también conocidas como partículas “respirables”.	Sus fuentes antropogénicas son los automóviles, calentadores domésticos, termoeléctricas, etc., y sus fuentes naturales incluyen los incendios y la re-suspensión del polvo. Las partículas pueden ser emitidas directamente de la fuente, o formarse en la atmósfera.	Las PM se han asociado con un aumento de síntomas de enfermedades respiratorias, reducción de la función pulmonar, agravamiento del asma, y muertes prematuras por afecciones respiratorias y cardiovasculares.
Ozono (O3): gas muy reactivo, incoloro y con olor penetrante. Es el principal compuesto químico en el smog fotoquímico.	Ocurre naturalmente en la capa de ozono estratosférica (15 a 20 km snm). En la tropósfera, el ozono se forma cuando los COV y NOx, que vienen principalmente de emisiones vehiculares, reaccionan en presencia de la luz solar.	La exposición al ozono está asociada con reducciones en la función pulmonar, síntomas respiratorios como tos, flemas y silbilancias, y el agravamiento del asma. El ozono también tiene efectos adversos en la vegetación y en los materiales de los edificios.

Fuente: Zuk, Tzinzum, Rojas, 2007

1.5. Objetivo del estudio

El presente estudio dimensiona en términos económicos el problema de salud pública, en primer lugar, que aqueja a Mexicali, y lo relaciona directamente con la calidad de aire y los contaminantes que aporta el parque vehicular de Mexicali. En este sentido formulamos la siguiente hipótesis: Implementar programas en sector transportes que mejoren la calidad del aire se podrían traducir en beneficios económicos por reducciones de los costos sociales evitados en materia de salud pública, derivados del la disminución del número de casos nuevos de asma o presentación de exacerbaciones o crisis asmática.

Nuestro objetivo general plantea la necesidad de estimar el beneficio económico para la salud del control de los niveles de calidad del aire en Mexicali, en términos de

<http://www.salud.gob.mx/apps/htdocs/estadisticas/glosario/danos2.htm>. Morbilidad puede ser clasificada de varias formas, entre la duración de la condición (crónica o aguda).

variaciones en el número de casos nuevos semanales de enfermedades de asma y estado asmático J45, J46 según la clasificación internacional de enfermedades; y cuantificar el costo económico (costo directo e indirecto, de no lograr los estándares de niveles de contaminantes atmosféricos establecidos en términos de gasto en diagnóstico y tratamiento y salarios perdidos).

Para cumplir con el objetivo general, hemos programado los siguientes objetivos particulares:

1) Estimar diferentes funciones dosis-respuesta mediante modelos de regresión que relacionan enfermedades respiratorias con los niveles de calidad del aire en Mexicali, con la finalidad de obtener la sensibilidad de las enfermedades respiratorias respecto ozono (O_3) y PM_{10} .

2) Estimar el cambio en el número de nuevos casos de asma con base en las funciones dosis-respuesta estimadas ante diferentes escenarios de calidad del aire (alto, medio y bajo)

3) Estimar el valor económico de la salud asociada al diferencial en la calidad del aire, de esta manera poder calcular el beneficio económico de reducir la contaminación del aire y por consiguiente la reducción de casos nuevos de asma por grupo etareo.

1.4. Organización de la tesis

El presente trabajo está compuesto de seis capítulos, incluyendo la presente introducción. El siguiente capítulo esboza tres marcos de referencia, el primero concerniente a las ciencias de la atmósfera, el segundo se refiere al comportamiento epidemiológico y el tercero al económico. El capítulo tres contiene evidencia empírica de Mexicali, el capítulo cuatro contiene los diferentes modelos dosis-respuesta y la metodología econométrica empleada para su estimación (modelos de corrección de errores). El capítulo cinco contiene la estimación del beneficio económico de la reducción del número de nuevos casos de asma

considerando cada uno de los escenarios de calidad del aire y el capítulo seis presenta la discusión.

II. CONTEXTUALIZACIÓN TEÓRICA

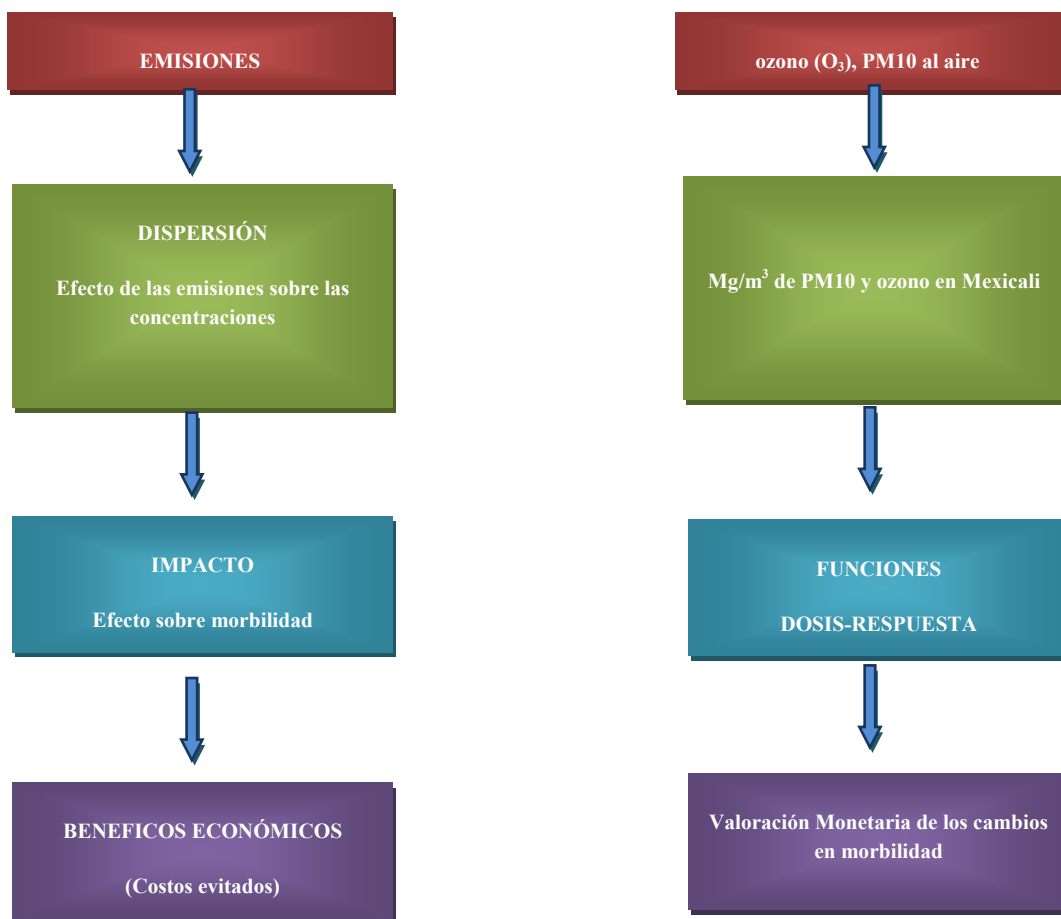
El aire es uno de los elementos que determinan la vida en la Tierra. Se sabe que en promedio nuestros pulmones filtran alrededor de 15 Kg de aire atmosférico al día, y que través de esta acción se depura la calidad de nuestra sangre y, por lo tanto, determina nuestro estado de salud. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), en la Ley de Aire Limpio (Clean Air Act, CAA) de 1970 estableció estándares de calidad del aire para proteger a los individuos de efectos adversos en la salud.

Como se describió en el capítulo introductorio, esta tesis es de carácter multidisciplinario, y por ende se sustentará sobre tres marcos de referencia. El orden en que los marcos de referencia serán presentados intentará establecer la cadena causa-efecto de la problemática mencionada. Primeramente se plantean en general, los factores que pueden afectar la calidad del aire, así como algunos procesos que inciden en la generación del ozono (O_3), el cual es un elemento clave para la presente investigación. Posteriormente y con base en estudios epidemiológicos, se plantea la correlación entre la exposición a un contaminante y sus efectos sobre la salud de la población de Mexicali. Finalmente, en el marco de la teoría económica, se discuten metodologías de valoración monetaria del costo que la morbilidad le impone a la sociedad.

El costo social de la contaminación atmosférica que finalmente se puede cuantificar como desenlace de la secuencia de causa-efecto de los procesos estudiados en esta tesis han sido estudiado de manera parcial por otros autores. Una representación del esquema o modelo que se presenta en este estudio lo muestra la Figura 1. El modelo ha sido utilizado en estudios amplios sobre las consecuencias de la contaminación atmosférica para toma de decisiones públicas, articulados en una técnica conocida como Evaluación Integral o *Integrated Assessment (IA)*. La técnica IA ha sido ampliamente utilizada por los evaluadores de políticas del Banco Mundial, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), entre otros, con la finalidad de estimar los efectos en la salud producto de mejoras en la calidad del aire, (Sánchez, Valdés, Ostro 1998) Con base en dicha técnica, Sánchez, Valdés, Ostro (1998), esbozan la cadena causa-efecto de los niveles de calidad del aire en la

población con enfermedades respiratorias y su valoración monetaria tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Figura 1. Metodología Integrated assessment



Fuente: Sánchez, Valdés, Ostro (1998).

2.1. Calidad del aire

Este primer marco teórico contiene elementos de meteorología como también de la dinámica de la transformación de compuestos químicos.

2.1.1. La atmósfera

La atmósfera es una masa gaseosa que cubre a la Tierra con espesor cercano a los dos mil kilómetros. Está formada por una mezcla de gases permanentes (nitrógeno, oxígeno, argón, entre otros) y por otros gases y partículas que no son parte de su composición normal, a lo que llamamos “contaminantes del aire”. Las unidades comúnmente usadas para especificar las concentraciones son partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/l), el cuál es el número de moléculas de un contaminante específico encontrado en un millón de volúmenes de aire (Molina y Molina, 2002) ver cuadro 2.1. Una medida similar pero tres órdenes de magnitud más pequeña que la anterior se expresa en partes por billón, o microgramos por litro (μ /l). El cuadro 2.1 muestra un listado de gases típico de los que se compone la atmósfera en forma natural.

Cuadro 2.1. Composición típica de la atmósfera limpia a nivel del mar

Componentes gaseosos	Formula	Porcentaje por volumen	Partes por Millón (ppm) por volumen
Gases permanentes			
Nitrógeno	N ₂	78.084	
Oxígeno	O ₂	20.946	
Argón	Ar	0.934	
Neón	Ne		18.2
Helio	He		5.2
Criptón	Kr		1.1
Hidrógeno	H ₂		0.5
Óxido de nitrógeno	N ₂ O		0.3
Xenón	Xe		0.09
GASES VARIABLES			
Vapor de agua	H ₂ O	0.01-7	
Dióxido de carbono	CO ₂	0.035	
Metano	CH ₄		1.5
Monóxido de carbono	CO		0.1
Ozono	O ₃		0.02
Amonio	NH ₃		0.01
Dióxido de nitrógeno	NO ₂		0.001
Dióxido de sulfuro	SO ₂		0.0002
Sulfato de Hidrógeno	H ₂ S		0.0002

Fuente: Molina y Molina, (2002)

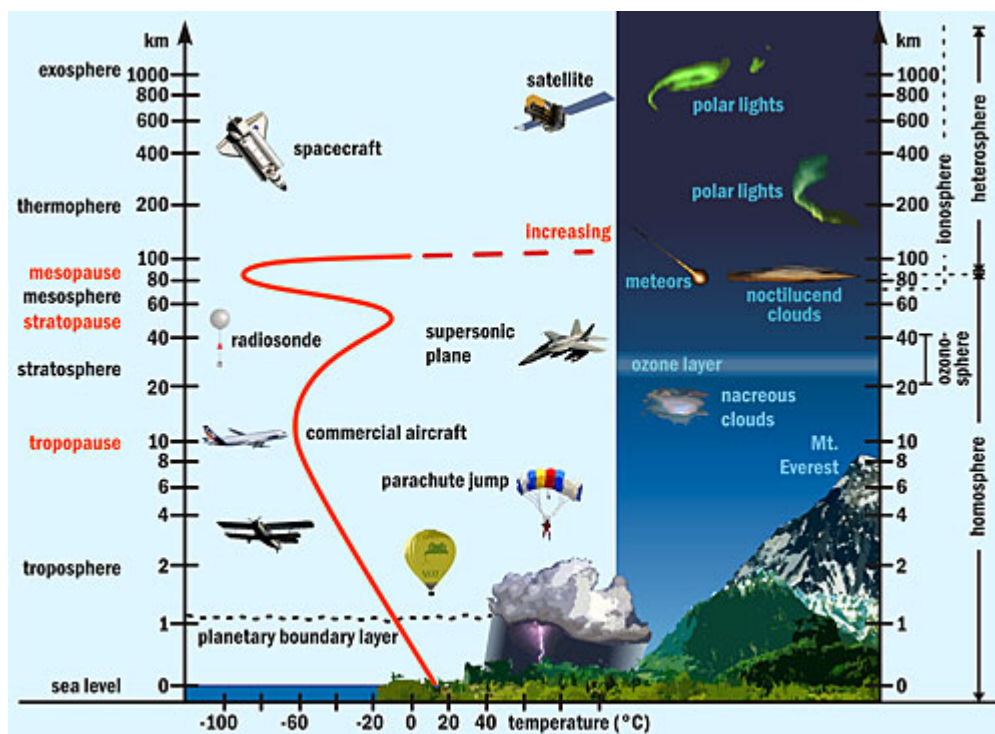
2.1.2. Capas de la atmósfera

La atmósfera de la tierra está caracterizada por variaciones de temperatura y presión dependiendo de la altura, de hecho, las variaciones promedio dependen de la altitud, por lo que es necesario distinguir las capas de la atmósfera. Las regiones de la atmósfera (figura 2.1) son la tropósfera, estratósfera, mesósfera, termósfera y exósfera (Seinfeld and Pandis, 1998).

En la primera capa, la tropósfera, la temperatura generalmente disminuye con incrementos en la altitud. Esto es debido a que el calentamiento intenso que se produce en la superficie de la tierra por la absorción de la radiación solar, es mitigado por los vientos que dispersan los componentes de la atmósfera a escala global. En la tropopausa, el perfil de la temperatura cambia, manteniéndose constante o incrementándose con la altitud a través de la estratósfera ver figura 2.

Este hecho es importante por las reacciones fotoquímicas se presentan a ese nivel, como la creación del ozono (O_3) que es producto de la radiación solar que convierte varias formas de oxígeno (O , O_2 , O_3) en forma intercambiante. Esto explica por qué altas concentraciones de ozono ocurren en la estratosfera, capa que se encuentra entre 8-15 y 50 km. La absorción de la radiación solar por ozono permite incrementar la temperatura con la altitud, produciendo un punto de inflexión en el perfil de la temperatura, (Molina y Molina, 2002).

Figura 2. Capas de la atmósfera



Fuente: www.kowoma.de/en/gps/additional/atmosphere.jpg

2.1.3. Procesos físico-químicos en la atmósfera

Para entender la naturaleza de la generación y evolución de compuestos químicos en la atmósfera, por el momento nos enfocaremos en los procesos mediante los cuales gases y partículas son removidos de la capa más baja de la atmósfera, la troposfera. Estos procesos pueden dividirse en dos tipos, retiro físico y retiro químico.

Retiro físico consiste en remover un químico de la atmósfera a través de la lluvia, y se conoce como *wet deposition* o deposición húmeda. Consiste en la disolución de los gases y partículas en las gotas de lluvia, cayendo a la tierra con las gotas. Los químicos no son más que un contaminante del aire, pero esto puede afectar otras partes del ambiente. Por ejemplo, si el compuesto químico es un ácido, éste puede terminar en un río con posibles consecuencias en el ecosistema acuático. Retiro químico es la pérdida de un compuesto por reacción química. El proceso destruye las especies químicas originales, convirtiéndolas en

otras especies; por ejemplo los hidrocarburos son eventualmente convertidos en agua y dióxido de carbono. Cuando las reacciones químicas ocurren, algunos de los químicos son transformados en contaminantes secundarios, potencialmente más fuertes que sus precursores, los contaminantes primarios.

Desde una perspectiva local y global, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno son los responsables de la degradación de la calidad del aire porque forman ozono y material particulado secundario, (Molina y Molina 2002). El ozono se ha considerado el representante típico de los oxidantes, debido a su mayor porcentaje en la atmósfera urbana y la facilidad para su medición. Una característica importante del ozono y el material particulado o PM es que no son emitidos directamente en la atmósfera, sino que son formados a través de complicadas reacciones fotoquímicas (Bravo A. et al, 1991). Su cantidad en la atmósfera tiene una dependencia total de las condiciones meteorológicas y de la naturaleza de las fuentes emisoras de compuestos precursores, así como de la situación topográfica de la región en la que se forman estos contaminantes (un ejemplo clásico es la topografía de la ciudad de México “como una ollita”).

El carbono, el oxígeno y el nitrógeno forman una serie de compuestos que “fluyen” cíclicamente en la biósfera, espacio donde se ubican y desarrollan sus actividades los seres vivos, pasando tiempo en la propia atmósfera. Los flujos constituyen lo que conocemos como ciclos biogeoquímicos, y la velocidad con que se desarrollan depende tanto del tipo de compuestos que forma como de las condiciones o dinámica de los medios en que se mueven. La contaminación ambiental tiene uno de sus principales efectos en la dinámica de estos flujos, acelerando o retardando la velocidad con que estos compuestos se transforman y se transportan a otros sitios y sus niveles dentro de la biósfera.

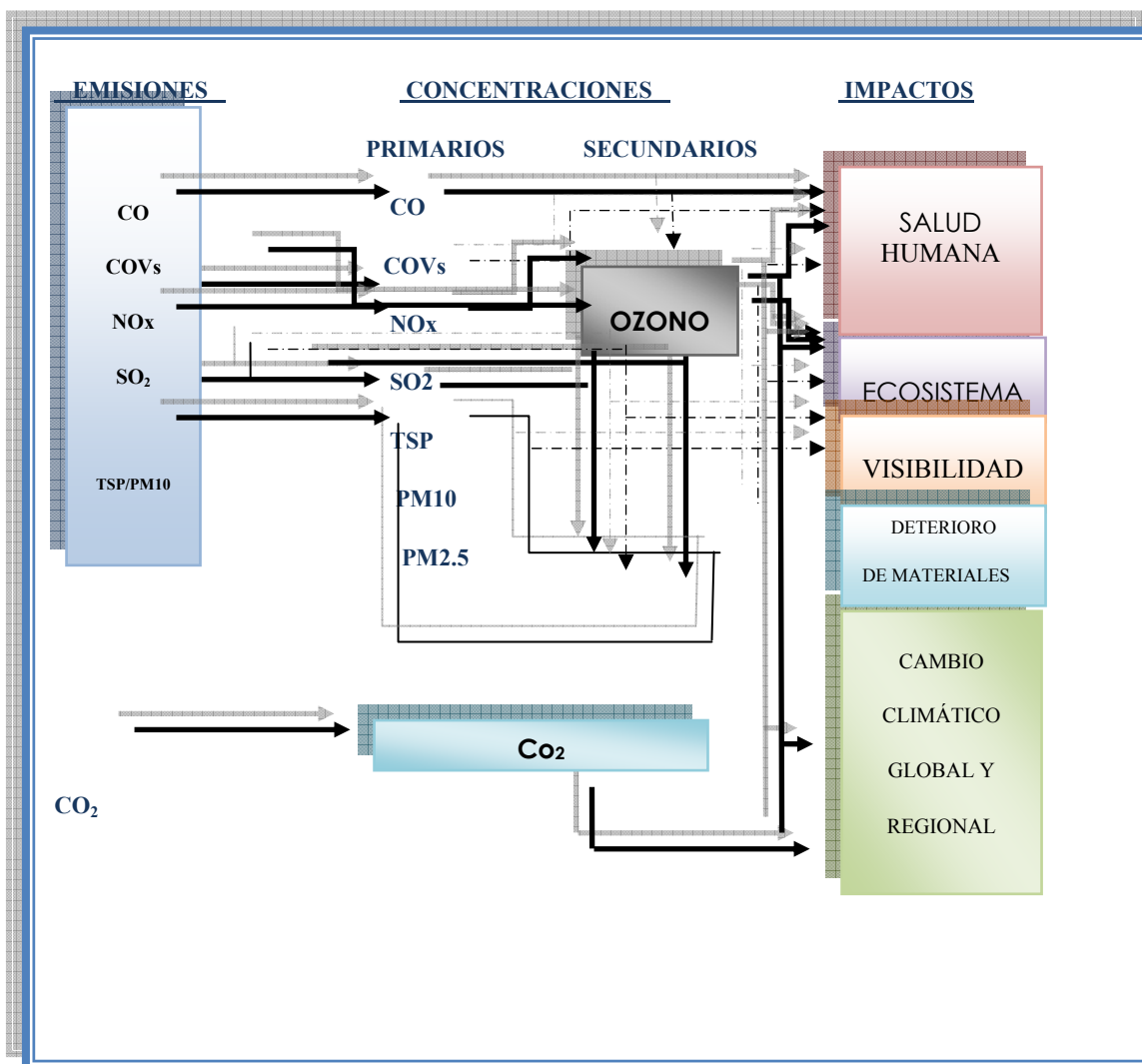
2.1.4. La transformación de contaminantes

Los contaminantes pueden clasificarse en contaminantes primarios o secundarios, los primero son emitidos a la atmósfera de diversas fuentes, tal como son formados, mientras

que los segundos son resultado de una transformación in situ en la atmósfera como resultado de la oxidación o reacciones fotoquímicas.

La figura 3, tomado de Molina y Molina (2002), muestra la dinámica entre las emisiones, concentraciones e impactos de los contaminantes del aire. La línea punteada representa una influencia débil tanto en la reacción fotoquímica y su impacto en la salud humana como en los ecosistemas, la visibilidad, el deterioro de materiales y en el cambio climático; las líneas gruesas representan una influencia fuerte.

Figura 3. Relación entre emisiones, concentraciones e impactos de los contaminantes



Fuente: Molina y Molina, (2002)

2.1.4.1 Ozono

El ozono es un gas oxidante reactivo producido naturalmente en la atmósfera, fue descubierto por C.F Shönbein. El ozono en la estratósfera es esencial para cubrir la radiación solar ultravioleta, cuando se presenta en concentraciones elevadas puede ocasionar efectos respiratorios en los seres humanos. Esta paradoja hace que el ozono sea un bien en la estratósfera y un mal en la tropósfera, (Seinfeld y Pandis 1998).

La producción fotoquímica de ozono o la transportación viento abajo de masas de aire ricas en ozono dependen de la hora del día combinado con la pérdida de ozono reacciona con el óxido de nitrógeno (NO) durante la noche. En regiones cercanas a grandes fuentes de óxido de nitrógeno (NO), durante la noche, cantidades mínimas de ozono pueden ser rápidamente transformadas por las reacciones entre el ozono y los óxidos de nitrógeno. Las variaciones sobre el ciclo diurno y las concentraciones de ozono en un lugar dado pueden variar de un día a otro. Bajo ciertas condiciones meteorológicas, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y de compuestos orgánicos volátiles (COVs) producen concentraciones de ozono tan altas como 200 a 400 ppb. Toda producción de ozono relacionada con cualquier especie de oxidantes es llamada contaminación fotoquímica del aire (Seinfeld y Pandis 1998).

2.1.5. Principales fuentes de emisión

Las fuentes de emisión de contaminantes las podemos dividir en dos categorías. La primera se refiere a aquellas que provienen de fuentes naturales, como, por ejemplo, los volcanes que emiten óxidos de azufre y partículas; los incendios forestales que emiten monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y partículas; o vendavales que suspenden polvos en el aire.

La segunda agrupa las emisiones de origen antropogénicas, las cuales se dividen en tres grandes categorías según su fuente de emisión (SEMARNAP, INE 1999). Las más importantes son las emisiones que proceden de fuentes móviles, es decir del sector transporte. Generan bióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de

carbono (CO) e hidrocarburos (HC) que pueden ser compuestos orgánicos volátiles y no volátiles, partículas de hollín y, como consecuencia de una reacción fotoquímica, ozono.

Las emisiones que proceden de fuentes fijas (industria, hogares, agricultura y vertederos) son responsables principalmente de CO₂, bióxido de azufre (SO₂), los NO_x, los HC, las partículas de hollín y los metales pesados, los clorofluorocarbonos (CFC) y el metano (CH₄). Las emisiones que surgen de la producción de energía generan CO₂, SO₂ y las partículas de hollín.

2.2. Epidemiología: Correlación entre exposición a un contaminante y sus efectos en la salud

2.2.1. Asma

El asma es un trastorno inflamatorio crónico que causa periodos recurrentes de sibilancias, disnea, opresión torácica y tos (Consejo Mexicano de Asma, 2005) Se sabe que es la enfermedad crónica más frecuente en la infancia (Sienra y Cols 2000). Las causas de la enfermedad son múltiples y se ha identificado como uno de los factores la presencia de algunos contaminantes atmosféricos como causantes de la enfermedad y otros como los que propician la exacerbación de los síntomas (crisis asmáticas).

El ozono es uno de los contaminantes del aire que afectan mayormente a la salud humana. Los efectos del ozono en las personas incluyen irritación de nariz y garganta, incremento en la producción de mucosidad, tendencia a tos, irritación de ojos, dolor de cabeza, y, durante episodios severos, dolor de pecho y dificultad para respirar. Estudios revelan que exposiciones a ozono en concentraciones cercanas a los estándares actuales de calidad de aire pueden permitir reducciones en el volumen de expiración, la cual es una medida clínica de la función pulmonar.

Niveles de 30 a 150 microgramos por metro cúbico de PM₁₀ son asociadas con incremento en el número de personas que mueren diariamente por fallas cardíaca y

pulmonar. The American Thoracic Society's Environmental and Occupational Health Assembly realizó una revisión de los efectos de las fluctuaciones diarias de PM_{10} en la salud. Los efectos se relacionan con incrementos en las enfermedades respiratorias agudas, decrementos en la absorción del flujo espiratorio máximo en niños normales e incrementos de la demanda de tratamientos médico, tanto en niños como en adultos con asma (Kleinman, 2000).

Es importante comprender dos conceptos de suma importancia en la presente investigación: la prevalencia y la incidencia de asma. La prevalencia, en términos epidemiológicos, se considera como el número de casos de asma en un periodo de tiempo y lugar; la incidencia se refiere al número de casos nuevos de asma.

La morbilidad de una población es un proceso que se desarrolla en el tiempo. Para explicar los conceptos de incidencia y prevalencia, recurrimos al siguiente análisis. Los casos observados durante un periodo de tiempo pueden caer dentro de cuatro categorías:

1. Cuando el inicio de la morbilidad ocurre antes del periodo y termina, ya sea por recuperación o muerte, durante el periodo,
2. Cuando el inicio de la morbilidad ocurre antes del periodo y termina después del mismo,
3. Cuando el inicio de la morbilidad ocurre y termina durante el mismo periodo,
4. Cuando el inicio de la morbilidad ocurre durante el periodo pero termina después del periodo, (Freeman III 1993).

La tasa de prevalencia abarca las cuatro categorías y es definida como el número total de casos en el periodo como un porcentaje del número promedio de personas en la población durante dicho periodo. La tasa de incidencia cubre sólo la tercera y cuarta

categoría, es decir, se define como el número de casos nuevos registrados durante el periodo como un porcentaje promedio del número de personas en la población.

Los datos de incidencia podrían ser más apropiados para investigar la relación causal entre cambios de exposición y cambios en el estatus de salud. Por otro lado, la tasa de prevalencia incorpora datos de duración de la enfermedad los cuales podrían ser más apropiados para analizar el costo social de morbilidad. Adicionalmente es importante señalar que la incidencia de episodios de crisis asmáticas también serían más convenientes de estudiar, sin embargo el problema que existe actualmente es el registro de estos eventos, ya que son detectados en la consulta de servicios de urgencias y no en la consulta diaria.

Si los efectos fueran irreversibles y acumulativos, entonces altas concentraciones de contaminantes podrían causar incrementos en el riesgo de enfermedades crónicas, la cuales podrían ser consideradas adversas.

2.2.2. Evidencia de los efectos de la contaminación en la salud humana

Utilizando la técnica de regresión de Poisson para conocer el grado de asociación que presentan las principales enfermedades respiratorias con los contaminantes del aire que rebasan los estándares en Mexicali e Imperial, Reyna (2000) encontró que incrementos del CO de 1.29 ppm estarían provocando cambios de nuevos casos de neumonías en un 10.78%, con intervalos de confianza de 6.10% - 15.66%. En cuanto a las Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), incrementos de 0.009 ppm en el O₃ produciría cambios del 3.94% en nuevos casos de IRA, con intervalos de confianza de 3.41% - 4.46%. El estudio concluye que incrementos de 1.29 ppm en el CO generarían cambios de nuevos casos de IRA en el orden del 4.90%, con intervalos de confianza de 4.37% - 5.43%.

Téllez-Rojo, Romieu, Polo-Peña, Ruiz-Velasco, Meneses-González, y Hernández-Avila (1997), estudiaron la relación de infecciones respiratorias altas y bajas con la exposición a ozono y bióxido de nitrógeno, utilizando la técnica de regresión Poisson aplicada sobre modelos de riesgo lineal y no lineal. Los periodos de latencia entre las

mediciones ambientales y la consulta fueron de uno, dos y tres días, y el promedio de las mediciones de los tres, cinco y siete días previos a la consulta.

Los autores encontraron que un incremento de 50 ppb. en el promedio horario de ozono de un día ocasionaría, al día siguiente, un incremento del 9.9% en las consultas de urgencias por infecciones respiratorias altas en el periodo invernal, pudiendo incrementarse hasta en un 30% si el incremento se diera en cinco días consecutivos como promedio. Adicionalmente, concluyeron que la exposición de los menores de 15 años al ozono y bióxido de nitrógeno inciden significativamente sobre el número de consultas ocasionadas por motivos respiratorios en esta zona de la Ciudad de México.

Hernández-Cadena, Barraza-Villarreal, Ramírez-Aguilar, Moreno-Macías, Miller, Carbajal-Arroyo, Romieu, (2007) evaluaron el impacto de los contaminantes atmosféricos de la salud respiratoria de la población infantil de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, por grupos de edad, emplearon un Modelo Aditivo Generalizado, asumiendo una distribución de Poisson y encontraron que las concentraciones de ozono se correlaciona significativamente con las consultas a urgencias por afecciones respiratorias, principalmente en niños de 5 años o menos.

En este grupo, un incremento de 20 ppb de ozono en 1 hr máxima se asoció con un incremento de 8.3% en las consultas por afecciones de vías respiratorias superiores, con un retraso en la exposición de tres días, y un incremento de 12.7% en las consultas por infecciones de las vías respiratorias inferiores cuando se consideró un retraso de cuatro días en la exposición en el promedio móvil máximo de ocho horas. El efecto mayor para la muestra total, al igual que para el grupo de niños de 6 a 16 años, se observó en el retraso de tres días (5.1% para un aumento de 20 ppb en un máximo de una hora). Para este grupo no se observó un efecto significativo entre los niveles ambientales de ozono y el riesgo de contraer enfermedades de las vías respiratorias inferiores. Concluyeron que la amplitud del riesgo es de suma importancia, ya que puede representar un incremento en los costos de atención en el sistema de salud y la sociedad en general. Destacan la necesidad de instrumentar acciones preventivas y de control de la contaminación atmosférica para evitar que empeore la situación actual.

2.3. Metodologías económicas: Valoración monetaria de los efectos de la contaminación del aire en la salud humana

Freeman III, (1993) describe y evalúa los métodos y técnicas de estimación del valor monetario de cambios en la salud humana que son asociados con cambios en el ambiente. Él argumenta que hay relaciones que se deben de establecer para realizar dicha estimación, la primera es la relación entre el cambio en el ambiente y el cambio en el estatus de salud, la segunda está entre el cambio de estatus de salud y su equivalente monetario.

Hay dos estrategias alternativas para valorar los cambios ambientales que afectan a la salud humana, la primera estrategia es desarrollar un modelo para comprender el comportamiento individual y la elección en la cual la calidad ambiental es una de las variables que lo está determinando. La segunda estrategia es tratar dos relaciones por separado, es decir el valor económico de cambios en el estatus de salud o los riesgos en salud podrían ser derivados primero y posteriormente ser combinados con predicciones independientes del cambio de los niveles de calidad del aire. Por ejemplo esto podría ser usado para medir el valor de la reducción del riesgo derivado de estudios de tasas salariales y riesgo ocupacional, combinado con estudios epidemiológicos de la relación entre contaminación del aire y tasas de mortalidad, para obtener el valor económico de mejorar la calidad del aire.

2.3.1. Estimación del valor de reducir morbilidad

La mayoría de los modelos formales utilizados para estimar el valor monetario de reducir la morbilidad, se basan en estimar una función de producción de salud, la cual fue desarrollada primero por Grossman (1972) y Cropper (1981), ampliada por Harrington y Portney (1987). En la presente investigación utilizaremos la versión desarrollada por Freeman III (1993), basada en una extensión del trabajo de Harrington y Portney; las elecciones pueden representarse mediante funciones de demanda de bienes y servicios respaldadas en las preferencias individuales (disposición a pagar o requerimientos de

compensación) o en recursos o costos de oportunidad, éste identifica el costo real de la enfermedad en términos pérdida de salarios y gastos médicos.

2.3.2. Modelo básico de producción de salud y elección

Supongamos que uno de los determinantes de la salud es el nivel de exposición o la dosis de algún contaminante del aire (índices de exposición). La dosis es representada por un escalar d , el cual depende de las concentraciones del contaminante c (ozono y PM_{10}), y de las actividades de prevención que realiza el individuo a (para evitar o reducir la exposición de la contaminación del aire).

En términos generales para poder obtener una buena aproximación de los beneficios para la salud por reducciones de los niveles de contaminación es necesario tomar en cuenta: 1) los gastos médicos asociados al tratamiento de enfermedad inducida por contaminación del aire (incluyendo el costo de oportunidad del tiempo perdido de estar en tratamiento), 2) la pérdida de salarios resultado de no poder trabajar en los días de enfermedad, 3) los costos asociados para prevenir (costos defensivos) para prevenir las enfermedades inducidas por la contaminación del aire y 4) la desutilidad asociada con los síntomas y las pérdidas de oportunidad de ocio causadas por la enfermedad.

Entonces la función de producción para un individuo puede ser escrita como:

$$s = s(d, b)$$

$$d = d(c, a)$$

Sustituyendo tenemos:

$$s = s(c, a, b)$$

donde:

s = los días que una persona pasa enferma

d = función del nivel de concentración del contaminante (ozono y PM_{10})

c = nivel de concentración del contaminante

b = tratamiento médico incurrido y actividades para mitigar la contaminación

a = actividades de prevención que realiza el individuo.

Las relaciones esperadas de la función $s=s(c,a,b)$ dependerán positivamente del nivel del contaminante, es decir $\partial s/\partial c > 0$, y negativamente de las actividades que realiza para reducir el nivel de contaminación y las actividades de prevención $\partial s/\partial b, \partial s/\partial a < 0$.

Freeman III, (1993) menciona que puede estimarse una función dosis-respuesta⁶ e introducirla en la una función de producción de salud para estimar los costos económicos por estar enfermo.

La función de producción de salud puede incorporarse en la función de utilidad del individuo para poder determinar los niveles óptimos entre los bienes que consume (X), de ocio y de enfermedad (s).

$$U= u(X,f,s)$$

De esta manera la utilidad del individuo dependerá positivamente del nivel de la cantidad de bienes y ocio que consuma $\partial u/\partial X, \partial u/\partial f > 0$, pero negativamente de los días que pasa enfermo $\partial u/\partial s, < 0$.

La elección óptima de bienes, ocio y producción de salud (X,f,s) que maximizan la función de utilidad están sujetas a la restricción presupuestaria del individuo. De este modo el problema que enfrenta el individuo es elegir los niveles óptimos entre X,f y s puede plantearse de la siguiente manera:

⁶ La función dosis-respuesta relaciona la enfermedad con los niveles de contaminación del aire y otras variables que afectan la salud.

Elegir entre el conjunto de consumo X, f y s -que sea el mejor con base en sus preferencias- sujeto a la restricción de que el costo de X,f,s no sea superior a ingreso que posee el consumidor.

La restricción presupuestaria de un individuo puede establecerse como:

$$I + p_w(T - f - s) = X + p_a * a + p_b * b$$

Donde:

I = ingreso no laborable

Pw = salario

T = tiempo total disponible

f = tiempo que destina al ocio

s = tiempo que pasa en enfermedad

p_a = precio de las actividades de prevención de la enfermedad

p_b = precio de mitigar la contaminación

Por lo que el lagrangiano correspondiente puede escribirse como:

$$l = u(X, f, s) - \lambda(X + p_a * a + p_b * b - I + p_w(T - f - s))$$

Obtenemos las condiciones de primer orden:

$$\frac{\partial u}{\partial X} = \lambda; \text{ ec(1)}$$

$$\frac{\partial u}{\partial f} = \lambda * p_w; \text{ ec(2)}$$

$$\frac{\partial u}{\partial s} * \frac{\partial s}{\partial b} = \lambda * p_b + \lambda * p_w * \frac{\partial s}{\partial b}; \text{ ec(3)}$$

$$\frac{\partial u}{\partial s} * \frac{\partial s}{\partial a} = \lambda * p_a + \lambda * p_w * \frac{\partial s}{\partial a}; \text{ ec(4)}$$

Igualando la ecuación 3 y 4, tenemos

$$\lambda * \frac{p_b}{\partial s / \partial b} = \frac{\partial u}{\partial s} - \lambda * p_w = \lambda * \frac{p_a}{\partial s / \partial a}; \text{ ec (5)}$$

Donde λ puede interpretarse como la utilidad marginal del ingreso.

Por otro lado, podemos tomar la función indirecta de utilidad $v(I, p_w, p_a, p_b, c)$ para obtener la disponibilidad de pago marginal ante variaciones de los niveles de contaminación, tomemos la diferencial total, de esta manera tenemos:

$$w_c = \frac{dI}{dc} = \frac{\partial v / \partial c}{\partial v / \partial I} = - \frac{\partial v / \partial c}{\lambda}; \text{ ec (6)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial c} = \frac{\partial u}{\partial s} * \frac{\partial s}{\partial c} - \lambda * p_w * \frac{\partial s}{\partial c}$$

$$\frac{\partial v}{\partial c} = \left(\frac{\partial u}{\partial s} - \lambda * p_w \right) * \frac{\partial s}{\partial c}; \text{ ec (7)}$$

Suponiendo que las actividades de mitigación y prevención son elecciones óptimas, entonces podemos sustituir en la ecuación 6, las ecuaciones cinco y siete, así tenemos:

$$w_c = p_b * \frac{\partial s / \partial c}{\partial s / \partial v} = p_b * \frac{\partial b}{\partial c}; \text{ ec (8.a)}$$

$$w_c = p_a * \frac{\partial s / \partial c}{\partial s / \partial a} = p_a * \frac{\partial a}{\partial c}; \text{ ec (8.b)}$$

Hay varios aspectos que se tienen que resaltar acerca de las expresiones anteriores de la disposición marginal a pagar, primero las razones

$$\frac{\partial s / \partial c}{\partial s / \partial v} \quad \text{y} \quad \frac{\partial s / \partial c}{\partial s / \partial a}$$

Pueden ser interpretadas como la tasa marginal de sustitución técnica (MRTS) entre contaminación y las otras variables que producen enfermedad. La disposición marginal a pagar puede ser expresada en términos de las distintas alternativas posibles de las actividades de tratamiento médico incurrido y mitigación de la contaminación (b) y las actividades de prevención que realiza el individuo a diferentes niveles de contaminación tomando en cuenta para cada MRTS los precios o los costos correspondientes.

En la práctica como lo menciona Freeman III, (1993) ha producido muchas dificultades de estimación, por lo que es útil considerar una expresión alternativa que muestre la relación entre el costo observable de la enfermedad y la disposición marginal a pagar.

El primer paso para obtener la expresión alternativa es obtener la funciones de demanda para el bien de reducir la contaminación (a) y para las actividades de prevención que realiza (b); las cantidades óptimas de a y b se establecen mediante las siguientes funciones: $a^*(I, p_w, p_a, p_b, c)$ y $b^*(I, p_w, p_a, p_b, c)$; las cuales están en función del nivel de calidad del aire, de su precio e ingreso.

El segundo paso es tomar la derivada total de las funciones producción de salud:

$$\frac{ds}{dc} = \frac{\partial s}{\partial a} * \frac{\partial a^*}{\partial c} + \frac{\partial s}{\partial b} * \frac{\partial b^*}{\partial c} + \frac{\partial s}{\partial c}$$

Esta expresión nos proporciona el impacto de un cambio en los niveles de calidad del aire en la en la enfermedad tomando en cuenta las cantidades óptimas de a y b, reordenando la ecuación anterior tenemos:

$$\frac{ds}{dc} = \frac{ds}{dc} - \frac{\partial s}{\partial a} * \frac{\partial a^*}{\partial c} - \frac{\partial s}{\partial b} * \frac{\partial b^*}{\partial c}$$

Multiplicándola por la condición de primer orden de la ecuación cinco tenemos:

$$-\frac{p_a}{\partial s/\partial a} = p_w - \frac{\partial u/\partial s}{\lambda}; \text{ec (11)}$$

Para obtener:

$$-p_a \frac{\partial s/\partial c}{\partial s/\partial a} = \left(p_w - \frac{\partial u/\partial s}{\lambda} \right) * \frac{ds}{dc} - \left(p_w - \frac{\partial u/\partial s}{\lambda} \right) * \frac{\partial s}{\partial a} * \frac{\partial a^*}{\partial c} - \left(p_w - \frac{\partial u/\partial s}{\lambda} \right) * \frac{\partial s}{\partial b} * \frac{\partial b^*}{\partial c}; \text{ec (12)}$$

Reordenando tenemos:

$$w_c = p_w * \frac{ds}{dc} + p_b * \frac{\partial b^*}{\partial c} + p_a * \frac{\partial a^*}{\partial c} - \frac{\partial u/\partial s}{\lambda} * \frac{ds}{dc}; \text{ec (13)}$$

Esta ecuación dice que la tasa marginal de sustitución técnica es la suma de las reducciones en el costo de la enfermedad y las actividades de prevención y su equivalente monetario de la des-utilidad por enfermedad. Los cambios en los costos de enfermedad consisten en los valores económicos de las reducciones del tiempo que dura la enfermedad y los gastos en mitigación. El término $p_w * ds/dc$ incluye el salario real perdido y el tiempo que se dejó de destinar al ocio por estar enfermo a la tasa salarial.

Como hemos mencionado anteriormente no es necesario estimar una la función de producción de salud, sino que podemos estimar una función dosis-respuesta (que es una forma reducida que relaciona la enfermedad con los niveles de contaminación del aire controlando con un grupo de variables confusoras como la temperatura, estación del año; que también pueden afectar el estatus de salud.

Nigenda, Cifuentes y Duperval P, (2002) mencionan que el método de costos de tratamiento ha sido ampliamente utilizado, y sus resultados pueden complementarse y validarse con otros métodos, además de que este método corrige las deficiencias de otros

métodos, pero subestima el costo real, ya que el costo de tratamiento no es el costo total de la enfermedad al no contener todos elementos mencionados por Freeman III (1993).

Este método se basa en la aplicación de la función dosis-respuesta y no tiene en cuenta el hecho de que las personas pueden reaccionar frente a los acontecimientos tomando una serie de medidas defensivas.

Por otro lado Miranda (2006) hace una revisión del estudio realizado por Alberini y Krupnick (2000) para Taiwán, en el que encontraron que los costos estimados por el método de valoración contingente, exceden a los costos por evaluados por el método de costos de la enfermedad entre 1.6 a 2.2 veces, dependiendo del nivel del contaminante, debido a que el método de valoración contingente incluye valoraciones no monetarias que no son posibles estimarlas a través de la información proveniente del mercado.

III. SITUACIÓN ACTÚAL DE MEXICALI

El problema de la calidad del aire -que aquejan la mayoría de las ciudades en nuestros días está generando una serie de impactos en la salud humana y en los ecosistemas, problemas de visibilidad y de deterioro de materiales, y es indicativo de la contribución que la actividad económica hace al cambio climático. Ésta problemática es abordada en la presente investigación para Mexicali, dado que de las ciudades mexicanas, ocupa el primer lugar en la producción de emisiones de Monóxido de Carbono y de PM₁₀, y el sexto lugar en ozono (Zuk, Tzinzum y Rojas, 2007).

En este capítulo se reseñan las principales actividades económicas de Mexicali con la finalidad de conocer, a grandes rasgos, la dinámica de la población estudiada. En seguida se describe la situación que prevalece en cuanto a la calidad del aire y morbilidad en Mexicali.

3.1 Situación Económica de Mexicali

Mexicali se encuentra localizada en la parte noroeste de México, en la frontera con los Estados Unidos. Su extensión territorial formó parte de la región de las Californias, que comenzó a ser explotada desde mediados del siglo XV. El crecimiento económico intenso comenzó a principios del siglo XX con la llegada de empresas extranjeras y, con éstas, el desarrollo de la actividad agrícola algodonera (Almaraz 2006). Actualmente la actividad económica de Mexicali está relacionada con la industria maquiladora, la cual cuenta con alrededor de 1100 establecimientos industriales, de los cuales casi el 89 por ciento corresponden a micro y a pequeñas industrias y el resto a la mediana y gran industria, (Zuk, Tzinzum y Rojas, 2007).

La población económicamente activa (PEA) ésta compuesta por el grupo de población mayor de 15 años que tiene la capacidad de trabajar y que busca empleo, es decir ésta compuesta por la población ocupada más la población desocupada; la PEA de Mexicali se encuentra alrededor del 55 por ciento, mientras que la población económicamente

inactiva representa el 45 por ciento. Por género encontramos que del total de la población masculina, el 71 por ciento están ocupados y el 27 por ciento son económicamente inactivos; de la población femenina, el 36 por ciento está ocupado, y el 62 por ciento es económicamente inactiva, tal como se muestra en el gráfico 3.1.

Gráfica 3.1. Mexicali: Distribución por género de la PEA y, PEI.



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI. Baja California, XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Tabulados Básicos

El cuadro 3.1 nos muestra el estatus de la población económicamente activa (PEA) de Mexicali, en donde cerca del 71 por ciento de la PEA son empleados y obreros, el 7 por ciento son jornaleros y peones, el 4 por ciento son patrones, el 13 por ciento son trabajadores por su cuenta, el 1 por ciento son trabajadores familiares sin pago y el 4 por ciento no está especificada.

Cuadro 3.1. Población Económicamente Activa por actividad, Mexicali 2000

Municipio y sexo	Total	Empleados y obrero %	Jornaleros y peones %	Patrones %	Trabajadores por su cuenta %	Trabajadores familiares sin pago %	no especificada %
Mexicali	284 884	71%	7%	4%	13%	1%	4%
Hombres	189 022	67%	9%	5%	15%	1%	3%
Mujeres	95 862	79%	4%	2%	10%	1%	4%

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI. Baja California, XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Tabulados Básicos

El crecimiento demográfico de la región se dio a partir del arribo de personas que intentaban cruzar la frontera y que se quedaron a radicar en Mexicali. En los años setenta comenzaron a crearse los primeros parques industriales, estableciéndose las primeras maquiladoras que impulsaron la demanda de mano de obra urbana.

Se debió al programa de industrialización fronterizo, creado con el objetivo de fomentar el desarrollo de la frontera norte vinculado con el resto del país, el cual buscaba que las mercancías nacionales abastecieran a la región y que la industria se orientara para buscar producir satisfactores locales. En los años ochenta se inicia el Programa de Desarrollo de la Frontera Norte como una estrategia de los gobiernos federal y estatal para convertir a esta región en una fuente de generación de divisas y empleos.

3.1.2 Población

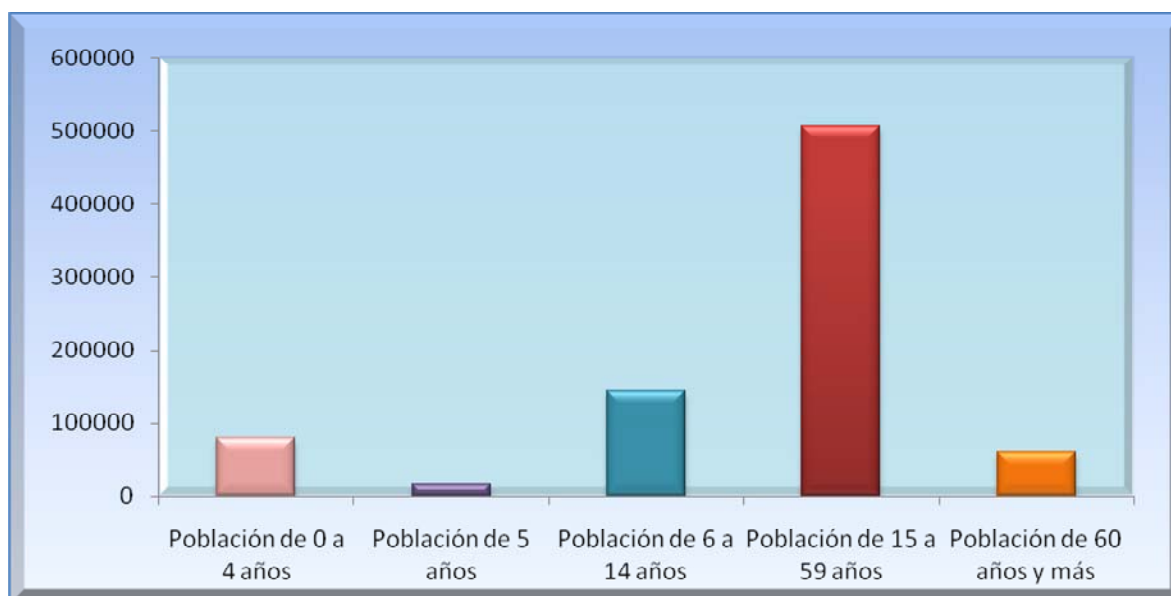
La población de Mexicali de acuerdo con el II conteo de población y vivienda 2005 era de 855,962 habitantes. La población en Mexicali de 1950 al 2000 se quintuplicó, siendo la década de los cincuenta la que presentó el crecimiento más alto del 12.6 por ciento anual. La población en el año 2005 por grupo de edad estaba distribuida de la siguiente manera: de 0 a 14 años 28 por ciento, el 59 por ciento de 15 a 59 años y 7 por ciento de 60 años y más, INEGI (2005) ver cuadro 3.2 y grafico 3.2.

Cuadro 3.2. Crecimiento Poblacional Mexicali 1950-2000

Años	Población Mexicali	Tasa de crecimiento
1950	124,362	
1960	281,333	126%
1970	396,324	41%
1980	510,664	29%
1990	601,938	18%
2000	716,551	19%
1950-2000		476%

Fuente: Elaboración propia con datos del inventario de emisiones de Mexicali y, XII Censo General de Población y Vivienda 2000 INEGI

Grafico 3.2. Mexicali 2005: Distribución de la población por grupo de edad



Fuente: Elaboración propia con datos del sistema de consulta principales resultados por localidad, INEGI 2005.

El crecimiento económico y demográfico de la ciudad de Mexicali al igual que otras ciudades, ha generado que la calidad del aire se encuentre deteriorado, y genere daños a la población en términos de salud, aunado a esto las condiciones meteorológicas con las que cuenta la región acentúan el problema.

3.2. Situación actual de la calidad del aire en Mexicali

Los reportes de calidad del aire son realizados por el Instituto Nacional de Ecología (INE) y describen y analizan las tendencias de las principales áreas metropolitanas de México. El primer reporte fue realizado en 1996 e incluía los inventarios de emisiones y datos de calidad del aire. El segundo reporte fue publicado en 1997, el cual incluye una actualización de la información de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), Guadalajara, Monterrey, Toluca y Ciudad Juárez agregando información de dos ciudades fronterizas con Estados Unidos, Mexicali y Tijuana. En este documento se reportó por primera vez información sobre Mexicali y, presentando su primer inventario de emisiones, y el único hasta el momento. Actualmente el segundo inventario de emisiones de Mexicali está en proceso de elaboración.

El tercer reporte fue publicado en 1998, el último reporte de con el que México cuenta sobre la calidad del aire es el 2005, el cual contiene información de 9 ciudades Mexicanas que rebasan el límite establecido por las normas de calidad de aire en México. Este documento reporta que Mexicali ocupa el primer lugar de emisiones de Monóxido de Carbono y de PM₁₀ y sexto lugar de Ozono de las nueve ciudades como se muestra en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Clasificación de las ciudades por contaminante (2005)

Contaminante	ZMVM	ZMG	ZMVT	PUEBLA	SALAMANCA	ZMM	CIUDAD JUAREZ	TIJUANA	MEXICALI
PM ₁₀	6°	5°	2°	8°	NA	3°	4°	7°	1°
O ₃	1°	2°	4°	7°	NA	3°	5°	8°	6°
CO	5°	2°	4°	8°	NA	6°	3°	7°	1°
SO ₂	2°	5°	3°	6°	1°	4°	NA	8°	7°
NO ₂	2°	1°	4°	7°	NA	6°	NA	5°	3°

NA: no aplica

Fuente: Zuk, Tzinsum y Rojas, 2007

3.2.1. Descripción de los niveles de ozono

Los niveles de ozono son reportados cada hora por tres estaciones de monitoreo del aire ubicadas en la Universidad Nacional Autónoma de Baja California (UABC), el Colegio De Bachilleres, Mexicali (COBACH), y el Instituto Tecnológico De Mexicali (ITM). En esta sección describiremos los días en los que se rebasa las normas establecidas para ozono, las cuales son: 0.11 ppm (1 hora) NOM-020-SSA1-1993 y 0.08 ppm (8 horas). Las frecuencias máximas aceptables son de 1 vez al año y quinto máximo en un año respectivamente. Los datos validados hora fecha de ozono son reportados por de la Dirección de Investigación sobre calidad del aire del INE para el año 2004.

En nueve ocasiones se rebasó la norma de concentración máxima por una hora de 0.11 ppm en el 2004 en la estación de la Universidad Nacional Autónoma de Baja California (UABC) y en el Instituto Tecnológico De Mexicali (ITM) en los meses de calor, específicamente en el mes de junio y agosto de 9 de la mañana al medio día. Ver cuadro 3.4

Cuadro 3.4. Días por arriba de la norma de Ozono, Mexicali 2004

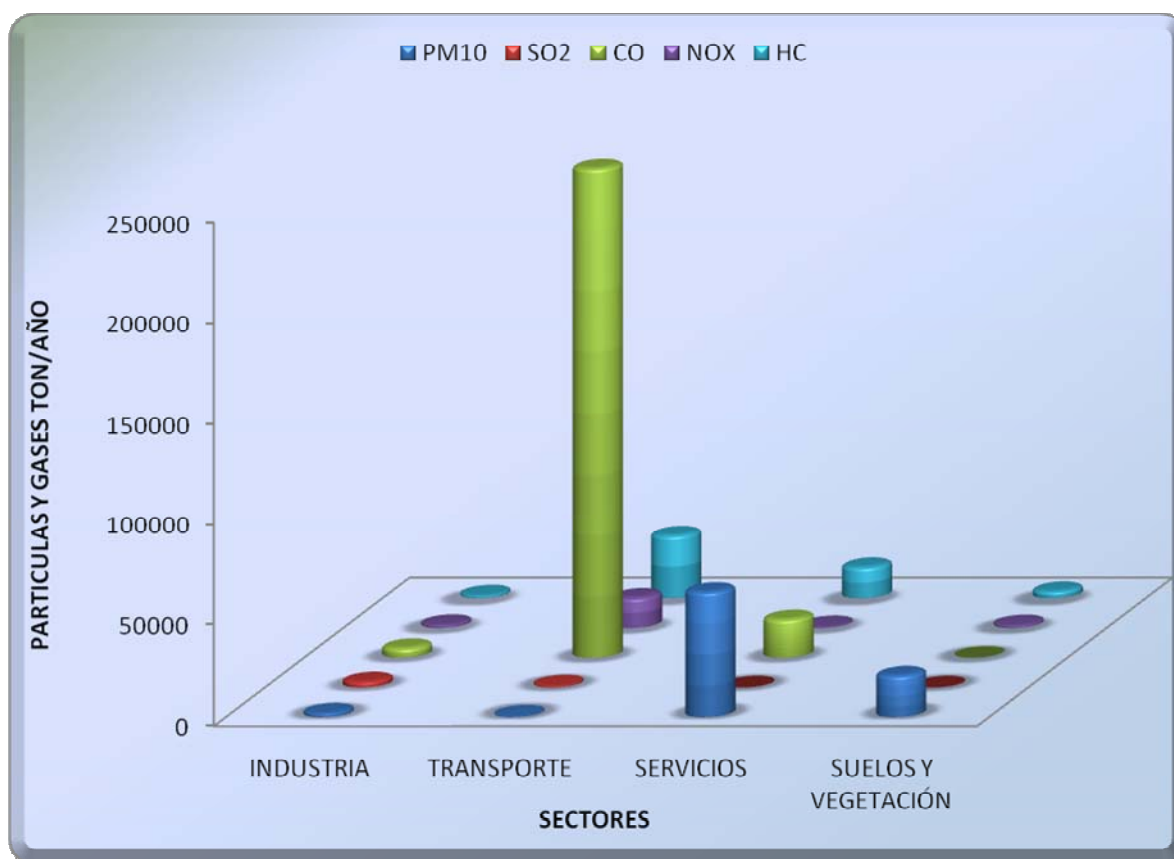
Fecha	Hora	Estación Uabc_O3 ppm	Fecha	Hora	Estación Itm_O3 ppm
24/06/2004	10.00	0.12	06/09/2004	16.00	0.12
25/06/2004	10.00	0.12	25/06/2004	10.00	0.13
25/06/2004	12.00	0.12	25/06/2004	11.00	0.16
08/08/2004	9.00	0.11	25/06/2004	12.00	0.12
31/08/2004	11.00	0.12			

Fuente: Elaboración propia con datos de la dirección de Investigación sobre calidad del aire del Ine 2004

Fuente: Elaboración propia con datos de la dirección de Investigación sobre calidad del aire del Ine 2004

Debido al desarrollo y evolución que ha tenido Mexicali, ha traído como consecuencia que la calidad del aire se haya deteriorado en los últimos años. Con base en el inventario de emisiones de Mexicali de 1996 se pudo identificar los diferentes tipos de fuentes emisoras así como los tipos de contaminantes emitidos por cada fuente. Tal como se muestra en la siguiente gráfica, el sector transporte es el que más contribuye a las emisiones totales de CO, NOx y HC. También encontramos en el inventario de emisiones de Mexicali elevadas concentraciones de SO₂ emitidas por el sector industrial; en cuanto a las fuentes de fuentes de área las emisiones más elevadas corresponden a las PM₁₀ (ver grafica 3.2.1).

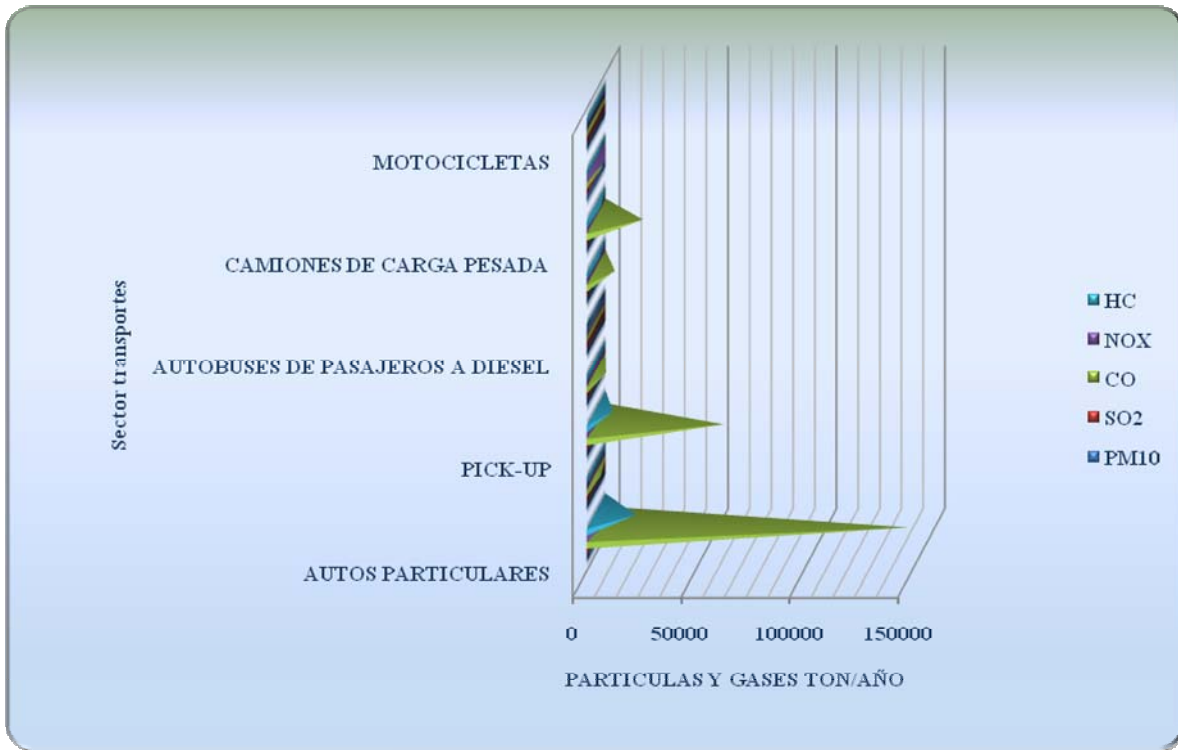
Grafico 3.2.1. Inventario de Emisiones Mexicali, 1996



Fuente: Elaboración Propia con datos del inventario de emisiones de Mexicali 1996.

Dentro del sector transporte encontramos que los automóviles particulares contribuyen con el 59.14 por ciento de las emisiones de monóxido de carbono CO, a pesar que éstas son las que se emiten con mayor participación porcentual, las que tienen mayor efecto en la salud son los óxidos de nitrógeno, pues son el principal generador de ozono.

Grafico 3.2.2. Inventario de Emisiones sector transporte: Mexicali, 1996

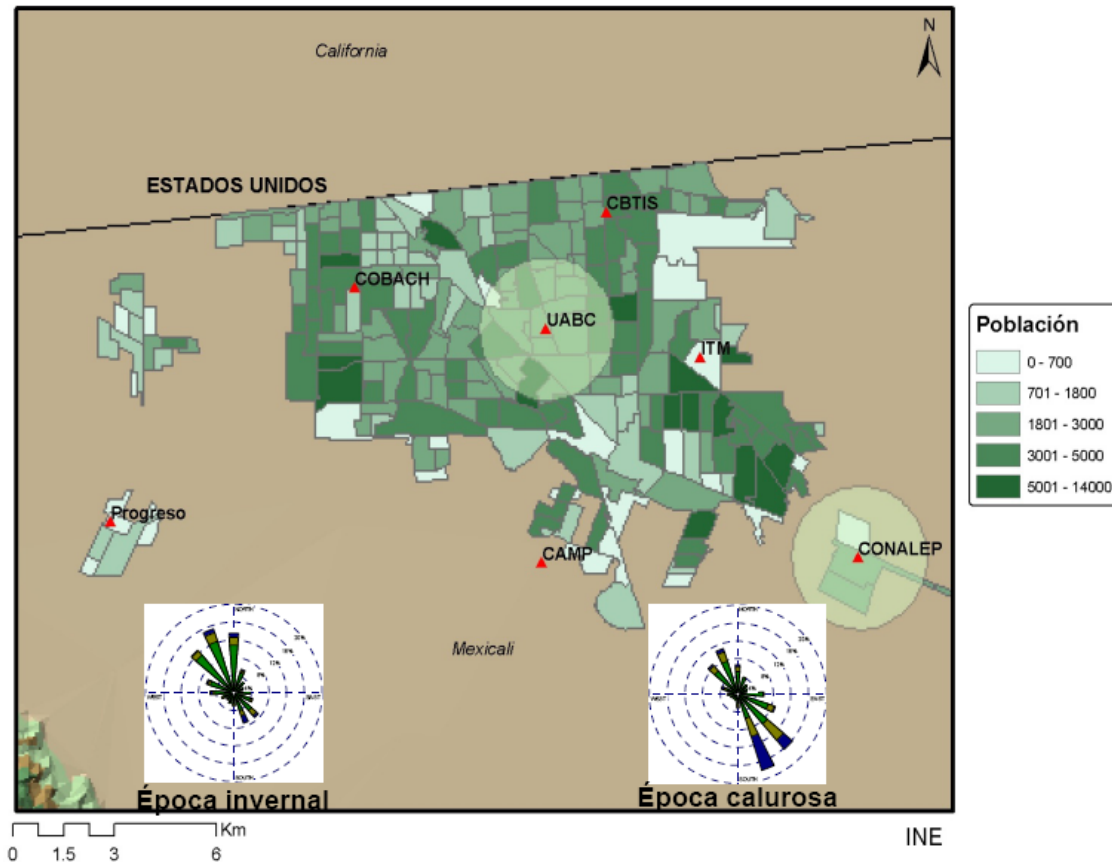


Fuente: Elaboración Propia con datos del inventario de emisiones de Mexicali 1996

La red de monitoreo de Mexicali inició sus operaciones en 1997 dentro del Programa Frontera XXI, con ayuda financiera de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), la Agencia de Recursos Atmosféricos de California (CARB, por sus siglas en inglés), y la entonces SEMARNAP. La red de monitoreo está conformada por 6 estaciones de monitoreo de Mexicali, y los datos no recopilados actualmente cada hora por la Secretaria de Protección al Ambiente del estado de Baja California y se publican en tiempo real.

La localización de las estaciones de monitoreo están distribuidas tal como se muestra en el grafico 3.2.3.

Grafico 3.2.3. Estaciones de Monitoreo de calidad de Aire de Mexicali



Fuente: Zuk, Tzinsum yRojas, 2007

3.3. Panorama epidemiológico de Mexicali

3.3.1. Prevalencia de asma

En los últimos veinte años la dinámica socio-económica de la frontera se ha caracterizado por un crecimiento acelerado en áreas urbanas, el aumento del desarrollo industrial, agrícola, el incremento del parque vehicular, el incremento del consumo de combustibles

entre otros factores, ha generado impactos al ambiente con efectos sobre la salud humana. Los esfuerzos realizados para conocer los efectos de las alteraciones sobre la salud humana y así entender los procesos mórbidos que pueden estar asociados fueron incorporados en el Programa Frontera XXI en donde se integraron diferentes sectores e instituciones para generar información relevante para abordar el problema (Pierre, Furgal y Ruíz, 2001).

Los números de casos de asma reportados por el Dirección General de Epidemiología de Mexicali del periodo 2004 -2007 se observa que la tasa de prevalencia más alta corresponde al grupo de etario de 0 a 4 años de edad. (Ver cuadro 3.5)

Cuadro 3.5. Tasa de prevalencia por grupos etarios: Mexicali 2004-2007

Grupos etarios	Número de casos	Población	Tasa de Prevalencia
casos asma 0-4	2443	78666	3%
casos asma 5-14	3580	240011	1%
casos asma 15-64	10351	497469	2%
casos asma 65 y más	908	39816	2%
TOTAL	17282	855962	2%

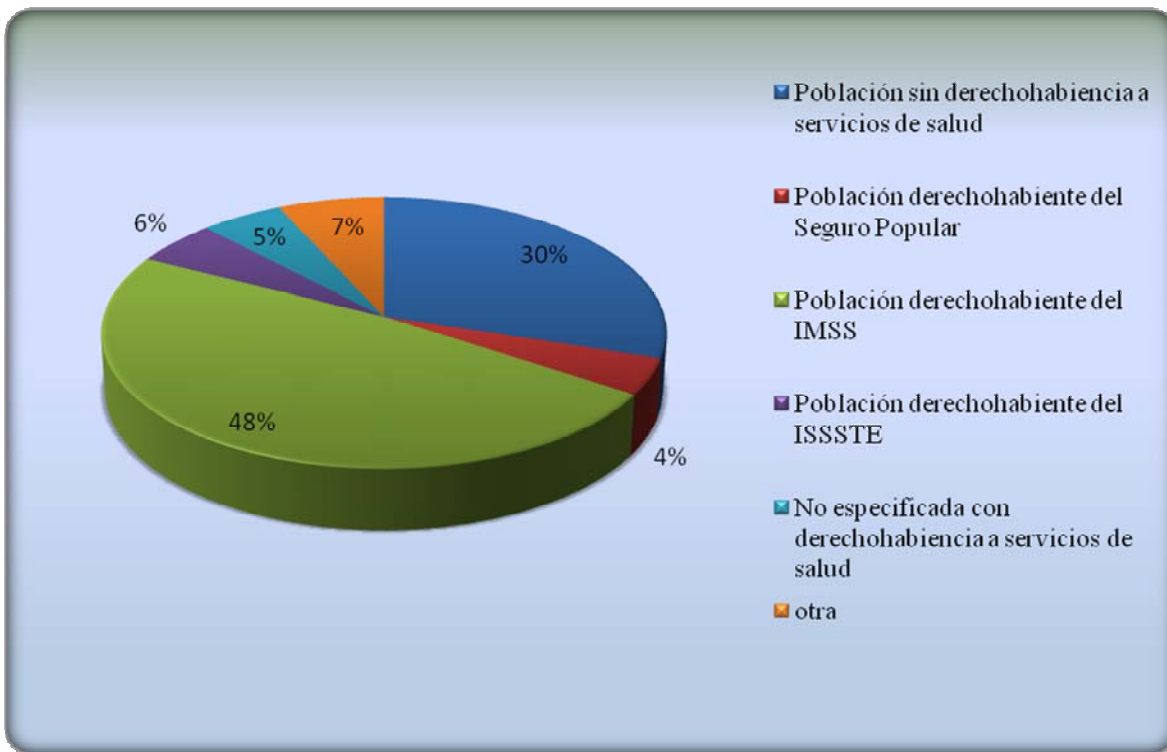
Fuente: Elaboración propia con datos la dirección General de Epidemiología de Mexicali y del censo de población y vivienda 2005 del INEGI.

La contaminación del aire representa una preocupación importante tanto por los efectos potenciales en la salud como por la frecuencia con en la que se exceden las normas de calidad del aire. Estudios epidemiológicos han revelado que los contaminantes que tienen mayor impacto en la salud humana son el ozono y el PM₁₀.

3.3.2. Población derechohabiente al sistema de salud en Mexicali

En Mexicali, el 65 por ciento de la población es derechohabiente al sistema de salud, de los cuales el 48 por ciento son derechohabientes del IMSS, el 6 por ciento al ISSSTE, y el 4 por ciento al seguro popular. Por otro lado, podemos observar que el 35 por ciento de la población es no derechohabiente a los servicios de salud.

Grafico 3.3.1. Porcentaje de la población derechohabiente y no a servicios de salud en Mexicali



Fuente: Elaboración propia con datos del sistema de consulta principales resultados por localidad, INEGI 2005

IV. MODELOS DOSIS-RESPUESTA

En los capítulos anteriores hemos mostrado el camino teórico que tomaremos para cuantificar en términos monetarios el costo de oportunidad que enfrenta la población de Mexicali al cambiar su estatus de salud. Ahora procederemos a cuantificar las relaciones establecidas en la cadena causa efecto que hemos planteado, en la que se vincula, en un primer momento, la relación entre contaminación del aire y enfermedad, específicamente de asma. Esta relación se podría obtener a partir de estimar la función de producción de salud sugerida por Freeman III (1993). A través de las funciones dosis-respuesta, que son una forma reducida de la función de producción de salud. Cabe mencionar que se estimaron funciones dosis-respuestas de asma por grupos etarios controlando por temporada de frío y calor.

Las herramientas econométricas utilizadas en la literatura epidemiológica son en su mayoría, no causales. En este sentido, informan sobre el riesgo y sólo proporcionan el riesgo de que ocurra un suceso, pero no aportan información sobre su sensibilidad de respuesta. Por ello la selección de la metodología para estimar nuestras funciones dosis-respuesta se basó, en primer lugar, en escoger dentro de las herramientas econométricas aquellas que nos proporcionaran información de tipo causal de corto plazo. Decidimos estimarlas con base en los modelos de corrección de errores (ECM). La característica principal de los ECM es la noción de equilibrio en el largo plazo, y la introducción de sus desequilibrios pasados como variable explicativa que incorpora los efectos de las variables omitidas en la ecuación de largo plazo en el comportamiento dinámico de las variables.

4.1. Descripción de las variables

4.1.1. Fuentes de información

El análisis de series de tiempo ha confundido a econométristas en su momento, quienes aplicaban un modelo de regresión típico sin considerar que los datos económicos en el no son necesariamente estacionarias.

La noción de series de tiempo comienza con el concepto de un vector estocástico o proceso aleatorio, el cual es definido como una colección ordenada de vectores aleatorios en el tiempo. Las series de tiempo pueden ser medidas en unidades discretas, éstas pueden ser diarias, semanales, mensuales, trimestrales, anuales, etc. En el presente estudio se analiza el número de casos de asma por grupos etarios, el promedio móvil de ocho horas de ozono O₃ de tres estaciones de monitorio (Imag_03), el promedio aritmético de PM₁₀ (lpm₁₀), el promedio aritmético de la temperatura (ltemp) y la humedad relativa (lhm). Todas las variables se utilizaron en logaritmos y están en unidades semanales del periodo de correspondiente del 2004 a 2007 de Mexicali.

La recopilación de la información utilizada se obtuvo de diversas fuentes. El número de caso de asma y estado asmático J45 y J46⁷ correspondiente a la jurisdicción 01: Mexicali por grupos etarios fue proporcionada por la dirección general de epidemiología de la secretaria de salud de Mexicali. El análisis se realizó en 4 grupos etarios, el primero correspondiente a la población de cero a cuatro años de edad (lasma4), el segundo de cinco a catorce años (lasma14), el tercero de quince a sesenta y cuatro años (lasma64) y el último de 65 años y más (lasma65). La participación porcentual más alta corresponde al tercer grupo de edad, el cuál corresponde al 60 por ciento de los casos durante del periodo de estudio, seguido por el grupo segundo grupo con el 21 por ciento del total, de 14 y 5 por ciento correspondientes al cuarto y primer grupo respectivamente.

En cuanto al grupo de variables de calidad del aire, los datos sobre concentración de ozono y PM₁₀ se obtuvo de las redes de monitoreo ambiental de Mexicali a través del portal de internet de la Dirección de Investigación sobre Calidad del Aire del Instituto Nacional de Ecología (INE)⁸, y del Sistema de consulta de datos en tiempo real del Sistema Nacional de la Calidad del Aire (SINAICA) referentes al ozono. De los datos registrados por el SINAICA, fue necesario considerar el promedio móvil máximo de ocho horas del ozono de cada una de las tres estaciones de monitoreo (UABC, ITEMS y COBACH), utilizando el

⁷ J45 y J46 corresponden a la clasificación internacional de enfermedades, asma y estado asmático respectivamente.

⁸ http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/tend/valida_concentraciones.php

valor máximo alcanzado. Las concentraciones de calidad de aire máximas fueron aplicadas al análisis para verificar si la relación causa efecto se rechaza o acepta con mayor claridad.

Dado que desconocemos el lugar de residencia o trabajo de los sujetos que forman parte de nuestra base de datos sobre morbilidad. La información de PM_{10} se obtuvo de dos fuentes: la primera de la dirección de investigación sobre calidad del aire del INE y de California Environmental Protection Agency of Air Resources Board. (<http://www.arb.ca.gov/adam/cgi-bin/db2www/adamweeklyc.d2w/start>) De la primera fuente se recopilaron los promedios aritméticos de cada seis días de PM_{10} correspondientes a los años del 2004 y 2005 información validada al 30 de mayo del 2008. De la segunda fuente se tomó el promedio aritmético semanal de PM_{10} de Calexico como proxy de los años 2006 y 2007. La decisión de tomar como proxy el promedio semanal de PM_{10} de Calexico se debió a que la información reportada por SINAICA aún no está validada para los años 2006 y 2007, sin embargo es bien sabido que el aire entre Mexicali y Calexico es compartido lo que sugiere la existencia de una alta correlación en los niveles de dicho contaminante. Para el grupo de variables meteorológica, tomamos el promedio aritmético semanal de temperatura y humedad relativa, los cuales también se obtuvieron de la segunda fuente. Las gráficas y cuadros estadísticos correspondientes a la información antes mencionada se encuentran en el anexo 1.

El primer paso en nuestro análisis de los procesos estocásticos fue verificar si la pruebas de estabilidad estructural sugerían separarlos en estaciones de frío (noviembre-abril) y calor (mayo-octubre). Cuando se utiliza un modelo de regresión con series de tiempo, puede suceder que exista un cambio estructural en la relación entre la variable dependiente y las independientes. Se debe entender por cambio estructural cuando los valores de los parámetros del modelo no permanecen constantes a lo largo de todo el periodo; a veces el cambio estructural se debe a fuerzas exógenas al proceso estocástico.

Los cambios estructurales pueden deberse a diferencias en la intersección o en el coeficiente de la pendiente, o en ambos. La prueba Chow, muestra que bajo la hipótesis nula, las especificaciones de nuestro modelo dosis-respuesta son estadísticamente las

mismas, es decir que no hay cambios estructurales ni rupturas durante todo el periodo analizado.

Las hipótesis a verificar son las siguientes:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_A: \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq 0$$

Donde $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ son los coeficiente de cada una de las especificaciones realizadas, es decir β_1 indica el conjunto de coeficientes de la especificación restringida. Esta tiene como variable dependiente el logaritmo del número de casos nuevos de asma (Lasma) y como variables independientes los logaritmos de la variable dependiente rezagada un periodo ($Lasma_{t-1}$), el logaritmo del ozono, PM_{10} , humedad relativa y la temperatura ($Lmag_{03}$, LPM_{10} , LHM y $LTEMP$ respectivamente). El conjunto de coeficientes de las especificaciones correspondientes a la temporada de frío y calor son β_2 y β_3 respectivamente. Solo para precisar la idea anterior, las especificaciones del modelo restringido y los no restringidos, es decir los de la temporada de frío y calor son las mismas. La diferencia entre ellas son el rango de la muestra, el rango del modelo restringido incluye toda la muestra estudiada (de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007), por otro lado el rango de los modelos no restringidos contienen las semanas de la temporada de frío y calor únicamente.

Los resultados de la prueba Chow sugieren la existencia de diferencias entre los coeficientes del modelo restringido y el modelos de la temporada de frío y calor (ver cuadro de resultados de la prueba en el anexo 2).

4.2. Las variables

La incidencia del asma, es decir el número de casos nuevos de asma reportados por la Dirección General de Epidemiología de Mexicali, correspondientes de la semana 1 del 2004 hasta la semana 208 del 2007 sumaron 17282 casos, la semana que registró el menor número de casos nuevos fue la semana 130 con 28 registros y el máximo de nuevos casos de asma se encontró en la semana 203 con 219 casos nuevos. Se observó que el número de

casos nuevos por temporada de frío y calor es mayor en las semanas correspondientes a los meses de noviembre-abril, es decir de la temporada de frío con una suma de 9327 casos nuevos. Mientras que en las semanas correspondientes a los meses de mayo-octubre (temporada de calor) se sumaron 7955 casos nuevos.

Es importante puntualizar que el número de casos nuevos de asma con el valor máximo se registró en la temporada de frío, mientras que el mínimo se presentó en la temporada de calor. Se observó que el promedio de registros de nuevos casos es más alto en temporada de frío, tal como se muestra en el cuadro 4.1.1.

Cuadro 4.1.1. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007

	ASMA semana 1 a la 208	Asma temporada de frío	Asma temporada de calor
Media	83	91	75
Mediana	69	76	60
Máximo	219	219	193
Mínimo	28	30	28
Std. Dev.	41	42	39
Jarque-Bera	43	23	20
Sum	17282	9327	7955
Obs.	208	102	106

Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Epidemiología de Mexicali 2004-2007

La clasificación de los grupos etarios utilizados en la presente investigación se ordenaron como sigue: el primer grupo corresponde al número de casos nuevos de asma y estado asmático de 0 a 4 años de edad, el segundo de 5 a 14 años de edad, el tercero de 15 a 64 años de edad y el cuarto de 65 años y más. La descripción estadística de los grupos etarios del número de casos nuevos de asma también se analizó en tres momentos, es decir el primero comprende de la semana 1 a la semana 208 del 2004-2007, el segundo periodo fue por temporada de frío y el tercer periodo a la temporada de calor.

Se encontró para el primer grupo de 0 a 4 años de edad un total de 2443 nuevos casos de asma en las 208 semanas, con un registró máximo de 42 casos en la semana 202 y un mínimo de cero casos correspondientes a las semanas 84, 116 y 135. La suma del número de casos nuevos de asma correspondientes en la temporada de frío y calor fueron 1496 y 947 casos respectivamente, ver cuadro 4.1.2.

Cuadro 4.1.2. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007 grupo etario de 0 a 4 años de edad

	Casos nuevos de asma semana 1 a 208 grupo de 0 a 4 años	Casos nuevos de asma, grupo de 0 a 4 años temporada de frío	Casos nuevos de asma, grupo de 0 a 4 años temporada de calor
Media	12	15	9
Mediana	10	13	8
Máximo	42	42	30
Mínimo	0	0	0
Std. Dev.	8	8	6
Jarque-Bera	63	24	30
Sum	2443	1496	947
Obs.	208	102	106

Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Epidemiología de Mexicali 2004-2007

El segundo grupo de 5 a 14 años de edad se registraron un total de 3580 casos nuevos de asma en las 208 semanas, con un registró máximo de 51 casos en la semana 203 y un mínimo de 4 casos correspondientes a la semanas 33 y 106. El número total de casos nuevos de asma correspondientes a las semanas de frío y calor fueron 1919 y 1661 respectivamente, ver cuadro 4.1.3.

Cuadro 4.1.3. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007 grupo etario de 5 a 14 años de edad

	ASMA05_14	ASMA05_14frío	ASMA05_14 Calor
Media	17	19	16
Mediana	15	16	14
Máximo	51	51	41
Mínimo	3	4	3
Std. Dev.	9	9	9
Jarque-Bera	29	21	12
Sum	3580	1919	1661
Obs.	208	102	106

Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Epidemiología de Mexicali 2004-2007

El grupo de 15 a 64 años de edad se contabilizó un total de 10,351 casos nuevos de asma de la semana 1 a la 208, con un registró máximo de 123 en las semanas 201 y 203. Un mínimo de 118 casos en la semana 200. El número total de casos nuevos de asma correspondientes a las semanas de frío y calor fueron 5390 y 4961 respectivamente, ver cuadro 4.1.4.

Cuadro 4.1.4. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007 grupo etario de 15 a 64 años de edad

	ASMA15_64	ASMA15_64frío	ASMA15_64 calor
Media	50	53	47
Mediana	42	45	37
Máximo	123	123	118
Mínimo	15	21	15
Std. Dev.	25	26	24
Jarque-Bera	39	19	19
Sum	10351	5390	4961
Obs.	208	102	106

Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Epidemiología de Mexicali 2004-2007

Se encontró para el primer grupo de 65 años de edad y más, un total de 908 nuevos casos de asma en las 208 semanas, con un registró máximo de 14 casos en la semana 178 y un mínimo de 5 casos correspondientes a la semana 5 y 166. La suma del número de casos nuevos de asma correspondientes en la temporada de frío y calor fueron 522 y 386 respectivamente, ver cuadro 4.1.5.

Cuadro 4.1.5. Estadísticas descriptivas del número de nuevos casos de asma en Mexicali de la semana 1 del 2004 a la semana 208 del 2007 grupo etario de 65 años y más de edad

	ASMA65MAS	ASMA65MAS	ASMA65MAS
Media	4	5	4
Mediana	4	5	3
Máximo	14	13	14
Mínimo	0	0	0
Std. Dev.	3	3	3
Jarque-Bera	24	6	29
Sum	908	522	386
Obs.	208	102	106

Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Epidemiología de Mexicali 2004-2007

Podemos concluir con base en la información presentada arriba, que el número de casos nuevos de asma son más altos en los meses de noviembre-abril en cada uno de los grupos etarios, ver gráficas correspondientes en el anexo 1.

4.2.1. Relaciones entre las variables

Los modelos de series de tiempo que utilizan variables con procesos estocásticos⁹ es necesario investigar si éstos cambian a través del tiempo. Si éstos cambian entonces se dice

⁹ Un procesos estocástico es una secuencia de variables aleatorias (X_t) en un espacio de probabilidades (Ω =espacio de posibilidades, F =espacio de eventos $\Phi(*)$ =función de probabilidad) tal que para cada t que pertenece a T . X_t es una realización del espacio de posibilidades (Ω): los procesos estocásticos tienen dos características i) rango de acción, que abarca los números reales y ii) el índice, que se define por el periodo o tiempo de la muestra.

que éstos son no estacionarios. En general se dice que un proceso es estacionario si su media y varianza son constantes en el tiempo y su valor de la covarianza entre dos periodos depende solamente de la distancia o rezago entre estos dos periodos de tiempo y no del tiempo en el cual se ha calculado la covarianza (Gujarati, cuarta edición, 2004).

Desafortunadamente los modelos que incluyen procesos no estacionarios pueden generar resultados espurios. Entonces es necesario analizar las series cuidadosamente para conocer su comportamiento antes de verificar las relaciones causales entre ellas. Supongamos que tenemos un proceso estocástico que está caracterizado por su distribución conjunta, para nuestros propósitos nos referiremos a sus dos primeros momentos de esta distribución, es decir media y varianza. Si una serie de tiempo se distribuye como una normal, entonces el primer y el segundo momento, media y varianza, proveen toda la información de su comportamiento con respecto al tiempo.

Se dice que un vector que sigue un proceso estocástico es llamado estacionario conjuntamente, si los dos primeros momentos son finitos y constantes con respecto al tiempo (Cromwell, et al, 1994), también son conocidos como procesos puramente aleatorios. Por otro lado están los procesos no estacionarios. Trataremos de fijar la idea mediante un par de ecuaciones, insistimos en éste punto pues es la base en la que nos apoyaremos para indagar las coeficientes de nuestras funciones dosis-respuesta.

Consideremos los siguientes procesos:

$$x_t = \rho x_{t-1} + u_t \quad |\rho| < 1$$

$$y_t = y_{t-1} + v_t$$

La diferencia entre estos dos modelos es que y_t es un caso especial del proceso x_t donde $\rho=1$ y es un llamado modelo de caminata aleatoria, también es conocido un modelo autorregresivo (AR(1)) con una raíz unitaria. Aunque los dos procesos son AR(1) el primero es estacionario mientras que el proceso y_t es no estacionarios (Maddala and Kim, 1998).

Es momento de conocer el comportamiento de los procesos estocásticos (lasma4, lasma14, lasma64, lasma65, lmag_03, lpm10, ltemp y lhm) antes de verificar sus relaciones causales entre éstos. Lo haremos a partir de la pruebas de raíces unitarias y de estacionariedad Dickey-Fuller Aumentada (ADF), Phillips-Perron (PP) y Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), claro primero se checó el filtro Hodrick-Prescott para realizar las pruebas en su especificación correcta de cada uno de nuestros procesos.

Los modelos de caminatas aleatorias son un caso específico de los procesos estocásticos conocidos como procesos integrados. Se llama un proceso integrado de orden $I(d)$, aquellos procesos que no son estacionarios, pero es posible encontrar una transformación tal que induce a nuestro vector estocástico a la estacionariedad.

Este es un paso necesario porque incurriríamos en una falla, si incorporamos el supuesto de estacionariedad dentro del análisis de series de tiempo que no permite identificar la especificación del modelo apropiado para los vectores de series de tiempo, (Cromwell, et al, 1994).

Las pruebas de raíces unitarias y de estacionariedad indican que todas nuestra variables siguen proceso estocásticos no estacionarios con un orden de integración uno – $I(1)$ -. Ver cuadros 4.1 y 4.2 correspondientes al grupo de variables de asma por grupos etarios y al grupo de variables de ambientales respectivamente.

Cuadro 4.2.1: Pruebas de raíz unitaria y de estacionariedad: Asma por grupos etarios

Variable	Especificación (ayuda gráfica: filtro Hodrick- Prescott)	Estadística ADF (Ho: raíz unitaria)	Estadística PP (Ho: raíz unitaria)	Estadística KPSS (Ho: prueba de estacionariedad)	Orden de integración
LASMA	C y T	-3.2155	-4.3382*	0.2230*	$I(1)$ Y $I(0)$
Δ LASMA	C	-20.8717**	-21.6728**	0.0482**	$I(0)$
LASMAF		-0.3421	-0.0601	0.5591	$I(1)$
Δ LASMAF		-15.2443**	-16.0050**	0.0575**	$I(0)$
LASMAC		0.4161	0.3994-	0.5265	$I(1)$

Δ LASMAC		-14.2407**	-14.6225**	0.05023**	I(0)
Pruebas de Raíz unitaria y de estacionariedad por grupos etarios ASMA					
LASMA00_04		-0.6389	-0.9309	0.4718	I(1)
Δ LASMA00_04		-12.4370**	-28.1169**	0.0780**	I(0)
LASMAF00_04		-1.0494	-1.007	0.4458	I(1)
Δ LASMAF00_04		-8.0975**	-18.1720**	0.0719**	I(0)
LASMAC00_04		0.1174	-0.3133-	0.5407	I(1)
Δ LASMAC00_04		-9.1440**	-20.8711**	0.1100**	I(0)
LASMA05_14	C y T	-4.0202*	-8.4856**	0.1802	I(1) Y I(0)
Δ LASMA05_14	C	-15.8698**	-26.3761**	0.0168**	I(0)
LasmaF05_14		-0.7936	-0.4982	0.5678	I(1)
Δ lasmaF05_14		-12.1719**	-20.9781**	0.0289**	I(0)
LasmaC05_14		0.059	-0.2379	0.5169	I(1)
Δ lasmaC05_14		-10.1258**	-16.2959**	0.0748**	I(0)
LASMA15_64	C y T	-3.7004	-4.8161**	0.2294	I(1) Y I(0)
Δ LASMA15_64	C	-13.3555**	-22.6277**	0.1027**	I(0)
LasmaF15_64		-0.2924	-0.09158	0.5816	I(1)
Δ lasmaF15_64		-14.3982**	-15.4084**	0.06829**	I(0)
LasmaC15_64		0.3269	0.5564	0.6304	I(1)
Δ lasmaC15_64		-9.8749**	-15.4396**	0.1186**	I(0)
LASMA65	C y T	-3.3368	-4.3382*	0.2230*	I(1) Y I(0)
Δ LASMA65	C	-20.8717**	-21.6728**	0.0482**	I(0)
LasmaF65	C	-0.3421	-0.0601	0.5591	I(1)
Δ lasmaF65	C	-15.2443**	-16.0050**	0.0575**	I(0)
LasmaC65	C	0.4161	0.3994-	0.5265	I(1)
Δ lasmaC65	C	-14.2407**	-14.6225**	0.05023**	I(0)

Notas:

1. C = Constante y TD = Tendencia Determinística.
2. Los asteriscos * y ** indican rechazo de la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5% y del 1%, respectivamente.
3. En las pruebas ADF se utilizan los valores críticos de MacKinnon (1996). En las pruebas DF-MCG se emplean los valores críticos desarrollados por Elliott, Rothenberg y Stock (1996). Y para las pruebas KPSS, se hace uso de los valores críticos propuestos

Cuadro 4.2.2. Pruebas de raíz unitaria y de estacionariedad ozono, PM₁₀, temperatura y humedad relativa

Variable	Especificación (ayuda gráfica: filtro Hodrick-Prescott)	Estadística ADF (Ho: raíz unitaria)	Estadística PP (Ho: raíz unitaria)	Estadística KPSS (Ho: prueba de estacionariedad)	Orden de integración
Ozono					
Lmag_03	C	-2.9659*	-2.3243	0.3951**	I(1) ó I(0)
Δ lmag_03		-11.8788**	-18.4685**	0.1989**	I(0)
Lmag_03 frío	C	-2.3339	-1.8421	0.3351	I(0)
Δ lmag_03 calor	C	-10.6201**	-18.8864**	0.1568**	I(0)
Lmag_03 calor	C	0.5574	-1.319	0.2978**	I(1)crr

Δmag_{03} calor	C	-7.9969**	-12.2899**	0.2597**	I(0)
PM ₁₀					
lpm10	C	-6.7523**	-11.4973**	1.0357	I(1)
$\Delta lpm10$	C	-10.9187**	-79.0607**	0.1286**	I(0)
lpm10 frío	C	-7.9293**	-8.0646**	8395	I(0) ó I(1)
$\Delta lpm10$ frío	C	-8.6440**	-36.3747**	0.0882**	I(0)
lpm10 calor	C	-7.7767**	-8.3065**	0.6329*	I(0) ó I(1)
$\Delta lpm10$ calor	C	-11.9103**	-26.4243**	0.0848**	I(0)
Temperatura					
ltemp	C y T	-3.7656*	-2.6562	0.0353*	I(0) ó I(1)
$\Delta ltemp$	C	-13.4397**	-16.6205**	0.1505**	I(0)
ltemp frío	C	-3.4272*	-3.5023**	0.1737**	I(0)
$\Delta ltemp$ calor	C	-10.2868**	-12.2725**	0.1191**	I(0)
ltemp calor	C	-1.8578	-2.3781	0.0514**	I(0) ó I(1)
$\Delta ltemp$ calor	C	-10.5609**	-10.5573**	0.1367**	I(0)
humedad relativa					
LHM	C y T	-6.0650**	-8.2695**	0.1078**	I(0)
ΔLHM	C	-20.4429**	-48.6236**	0.1956**	I(0)
LHM frío	C	-3.1191*	-5.8744**	0.6843*	I(0) ó I(1)
ΔLHM frío	C	-11.8943**	-28.2682**	0.1826**	I(0)
LHM calor	C y T	-3.7656*	-2.6562	0.0353*	I(0) ó I(1)
ΔLHM calor	C	-13.4397**	-16.6205**	0.1505**	I(0)

Notas:

1. C = Constante y TD = Tendencia Determinística.
2. Los asteriscos * y ** indican rechazo de la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5% y del 1%, respectivamente.
3. En las pruebas ADF se utilizan los valores críticos de MacKinnon (1996). En las pruebas DF-MCG se emplean los valores críticos desarrollados por Elliott, Rothenberg y Stock (1996). Y para las pruebas KPSS, se hace uso de los valores críticos propuestos

Fuente: Elaboración propia

La importancia del orden de integración de las variables de nuestros modelos está conectada con el concepto de cointegración, el cual es parte fundamental de nuestro análisis econométrico. Cointegración lo podemos definir: sean X_t , Y_t (en nuestro caso, el número de caso de asma en Mexicali (LASMA), el promedio móvil de cada 8 horas del ozono (LOZONO), el promedio móvil del nivel de partículas PM₁₀ (LPM₁₀), el promedio de la temperatura (LTEMP) y el promedio de humedad relativa (LHM), se dice que cointegran si existe un $\alpha \neq 0$ (vector de cointegración) tal que sea posible expresar las series como una combinación lineal $X_t - \alpha Y_t = z_t$ donde es posible que z_t I(0), una importante propiedad de las variables I(1) es que puede haber una combinación lineal entre estas variables que sea I(0). Si es así se dice que las variables están cointegradas en el largo plazo.

Los pioneros de la técnica de cointegración fueron Engel y Granger (1987), Hendry (1986), y Granger (1986), el concepto de cointegración nos dice que si dos o más series cointegran cuando existe una tendencia(s) común.

En general, Si Y_t es $I(d)$ y X_t es $I(b)$, entonces Y_t y X_t son $CI(d,b)$, si $Y_t - \beta X_t$ es $I(d-b)$ donde $\beta > 0$. Esto significa que la ecuación de regresión

$$Y_t = \beta X_t + u_t$$

Es sensible porque Y_t y X_t no tienen la misma tendencia, es decir están muy lejos una de la otra a lo largo del tiempo. Sin embargo hay una relación de equilibrio en el largo plazo entre ellas. Si $Y_t - \beta X_t = u_t$ es también $I(1)$, entonces Y_t y X_t tendrán una tendencia divergente una de otra en el tiempo. En este caso la relación que obtenemos de la regresión Y_t y x_t podría ser espuria.

Para fijar la idea considérese el siguiente sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} x_t &= u_t & u_t &= u_{t-1} + \varepsilon_{1t} \\ Y_t - \beta X_t &= v_t & v_t &= \rho v_t + \varepsilon_{2t} \end{aligned}$$

En esos sistemas de ecuaciones, Y_t y X_t son $I(1)$ independientes del valor de ρ , si $\rho=1$ entonces la combinación lineal $Y_t - \alpha X_t = v_t$ son $I(1)$, entonces Y_t y X_t son dos caminos aleatorios independientes. Si $\rho < 1$, entonces $Y_t - \alpha X_t = v_t$ son $I(0)$, entonces Y_t y X_t están cointegradas.

El modelo de corrección de errores (ECM), primero fue introducido dentro de la literatura econométrica por Sargan (1964) y popularizado por Davidson (1978). Hay varias interpretaciones de los modelos de corrección de errores (ECM), estas son discutidas en Algoskoufis y Smith (1991). La característica principal de los ECM comparados con el VAR es la noción de equilibrio de largo plazo y la introducción de desequilibrios pasados como variable explicativa en el comportamiento dinámico de las variables.

La idea de cointegración está vinculada con el equilibrio de largo plazo. Como ya hemos mencionado Engel y Granger (1987) demostraron que dos o más variables pueden estar cointegradas siempre que exista una correspondiente representación de corrección de errores. Lo anterior implica que los cambios en la variable son una función del nivel de desequilibrios en las relaciones de cointegración. En nuestro estudio, los desequilibrios de LASMA, LOZONO, LPM₁₀, LTEMP, LHM son capturados en el término de corrección de errores así como los cambios en otras variables explicativas que no son incorporadas en la especificación del modelo, tales como factores patológicos relacionados con la enfermedad, o las condiciones sociodemográficas de la población en estudio.

La relación entre cointegración y ECM la podemos comprender si consideramos el caso de dos variables X_t y Y_t ambos son $I(1)$. En este caso si las escribimos como $Y_t = \beta X_t + u_t$ y u_t es $I(0)$ entonces X_t y Y_t están cointegradas y β es el vector de cointegración. De acuerdo con el teorema de representación de Granger, pueden existir relaciones congruentes con la construcción de un modelo de corrección errores:

$$\Delta Y_t = +\beta_1 \Delta X_t + \gamma(Y_{t-1} - \beta_0 - \beta_1 \Delta X_{t-1}) + \varepsilon_t$$

Donde $\gamma(Y_{t-1} - \beta_0 - \beta_1 \Delta X_{t-1})$ se define como el mecanismo de corrección de errores con $-1 < \gamma < 0$. Este término representa la diferencia entre el valor observado (número de casos de asma) y su valor de largo plazo y, por tanto, su magnitud de ajuste. La importancia del valor negativo del coeficiente (γ) garantiza que la corrección de los errores pasados conduzca a un ajuste del valor observado en tasas de crecimiento en el periodo actual, un valor de más cercano a menos uno indica que el ajuste será más rápido respecto al error del periodo anterior mientras que, un valor cercano a cero, sugiere que el ajuste se efectuará con lentitud con respecto al periodo anterior (Maddala, 1996).

La relación entre modelos de corrección de errores y cointegración fueron puntualizados en Granger (1981) y Engel y Granger (1987), mediante el teorema de

representación de Granger¹⁰ se muestra que dos series cointegradas, pueden ser representadas por modelos de corrección de errores. Cuando al menos existe una ecuación de cointegración, un procedimiento popular es el Engel-Granger método de dos pasos. Primero obtenemos la regresión de cointegración de largo plazo y obtenemos los residuales. Segundo usamos la regresión en primeras diferencias incorporando el vector de los residuales rezagado como mecanismo de corrección de errores (Kennedy, 2003).

Si exploramos la idea de que puede existir una relación(s) entre el número de casos de asma (LASMA) el ozono (LOZONO), los niveles de PM₁₀ (LPM₁₀), la temperatura (ltemp) y la humedad relativa (lhm) de Mexicali. Es posible que muestren la misma tendencia en el tiempo, esto lo podemos verificar conociendo su orden de Integración. Sabemos por las pruebas de raíces unitarias y estacionariedad que nuestros proceso estocásticos son I(1). Lo anterior nos permite estimar una combinación lineal entre ellos que sea I (0). La introducción de desequilibrios pasados, es decir el mecanismo de error, en el comportamiento dinámico de las variables es con la finalidad de incorporarla como variable explicativa que capture los efectos de las variables omitidas.

4.3. Modelos dosis-respuesta de largo plazo

Las relaciones de largo plazo están dadas por la siguiente especificación donde Log es el logaritmo de las series:

$$\log lasma_i = \beta_0 + \beta_1 \log[lozono] + \beta_2 \log[lpm10] + \beta_3 \log[ltemp] + \beta_4 \log[lhm] + u_i$$

Las especificaciones de largo plazo, es decir las funciones dosis-respuesta de largo plazo de asma por grupos etarios por temporada de frío y calor se muestran en anexo 2. Encontramos que las relaciones son consistentes en valor y signo, dicho en otras palabras se encontró que existe una relación directa entre el número de nuevos casos de asma y los niveles de ozono O₃ y PM₁₀ tal como lo sugiere la literatura epidemiológica. En cada

¹⁰ Teorema de representación de Granger: Si dos vectores N*1 dados en $(1-B)X_t=C(B) E_t$ son cointegrados con $d=1$, $b=1$ y con rango de cointegración r .

especificación se seleccionaron aquellos con la significancia estadística más alta y que cumplieran con los supuestos básicos de los estimadores linealmente in-sesgados. La importancia de estas especificaciones es encontrar para cada grupo de etario un vector de corrección de errores. De esta manera incorporar los efectos de las variables omitidas en las especificaciones de corto plazo correspondientes a las funciones dosis respuesta.

Los mecanismos de corrección de errores para cada sub-grupo se encontraron consistentes con el teorema de representación de Engel y Granger, es decir los mecanismos de corrección de errores son estacionarios ver cuadro de pruebas de estacionariedad y raíces unitarias en el anexo 2.

4.3.1. Modelos dosis-respuesta de corto plazo

Se comenzará esta sección puntualizando dos aspectos importantes con el propósito de guiar el camino que tomamos para obtener los coeficientes o pendientes de las funciones dosis-respuestas de asma de corto plazo. El primer aspecto es explicar los grupos de estimaciones realizados y el por qué de esta separación, la segunda es presentar de manera general la expresión matemática de los modelos. Los modelos estimados los agrupamos en cinco. En el primer grupo de modelos contiene el número total de casos nuevos de asma como variable dependiente, los siguientes cuatro bloques de las estimaciones fueron separaron por grupos etarios. Cada grupo contiene los resultados de tres especificaciones, la primera corresponde al rango completo de la muestra es decir de la semana 1 del 2004 hasta llegar a la semana 208 del 2007, la segundas y terceras especificaciones corresponden a las semanas de frío y calor del periodo completo. Esto hace un total de 15 modelos de corto plazo de asma.

La separación se realizó con la finalidad de identificar las elasticidades correspondientes de cada grupo, es decir la sensibilidad o respuesta de la población a los niveles de contaminación en cada grupo de edad, pues desde el punto de vista medico el impacto de los contaminantes es diferente en los niños que en los adultos.

En un gran número de estudios los niños han sido considerados como si fueran pequeños adultos, esto no es cierto. Hay varias diferencias en la forma en la población por grupo etario responde a la contaminación. Por ejemplo los niños respiran más aire por unidad de peso corporal que los adultos, cuando un niño se ejercita sea en juego de fútbol ellos toman entre un 20 y 50 por ciento más aire que los adultos, y por lo tanto toman más contaminación. Otra importante diferencia es que los niños no necesariamente responden a la contaminación del aire de la misma manera que los adultos. Los adultos expuestos a bajos niveles de ozono pueden experimentar síntomas tales como tos, dolor en de pecho, dolor de garganta, y a veces dolores de cabeza. Los niños, por otro lado, pueden no sentir los mismos síntomas, o al menos no reconocerlos (Kleinman M. 2000).

El segundo aspecto es la especificación general de corto plazo:

$$\Delta \log lasma_i = \beta_0 + \beta_1 \Delta \log[lozono] + \beta_2 \Delta \log[lpm10] + \beta_3 \Delta \log[ltemp] + \beta_4 \Delta \log[lhm] + \mathbf{emc}_{t-1} + v_t$$

Donde $\Delta Lasma$, $\Delta Lozono$, ΔLPM_{10} , ΔLhm , $\Delta ltemp$ son las tasas de crecimiento del asma, el ozono, el PM_{10} , la humedad relativa y la temperatura respectivamente.

4.4 Resultados

El cuadro 4.3 muestra el primer grupo de modelos de corto plazo de asma realizados, el cual se realizó tomando toda la muestra completa sin separar por temporada de frío y calor. La finalidad de realizar dichas estimaciones es mostrar la importancia que tienen los modelos cuando se separan por grupos etarios. Los resultados que arrojaron estas especificaciones fueron los siguientes:

- ❖ En el primer modelo la variable dependiente es la tasa de crecimiento del número de nuevos casos de asma de la 1 semana del 2004 hasta la semana 208 del 207 (DLASMA). Como se puede observar en cuadro 4.3 las variables independientes tanto la tasa de crecimiento de ozono (DLMAG_03) como la tasa de crecimiento de PM_{10} (DLPM₁₀) resultaron estadísticamente significativas.

- ❖ La segunda especificación se tomó como variable dependiente el número de nuevos casos de asma de las semanas correspondientes a la temporada de frío. En este modelo tampoco se encontraron estadísticamente significativas las variables ambientales ozono y PM_{10} . Se obtuvo el mismo resultado para la temporada de calor.
- ❖ Cabe señalar que las tres especificaciones se encontraron estadísticamente significativo los cocientes del vector de corrección de errores en valor y signo. El cuál nos está indicando que en las aproximaciones los vectores de corrección de error (ECM) son buenos generadores de información de las variables omitidas en las especificaciones.

Cuadro 4.3. Modelos dosis-respuesta de corto plazo

Variabes dependientes	DLASMA		DLASMAF		DLASMAC	
Variables independientes	DLASMA _(t-1)	-0.276** (-4.1855)	DLASMAF _(t-1)	-0.2576** (-2.8001)	DLASMAC _(t-1)	
	DLPM10 _(t-2)	0.015862 -0.672	DLPM10 _(t-1)	0.0112 -0.3337	DLPM10 _(t-2)	0.0412 -1.0149
	DLMAG_03	0.0408 -1.1013	DLPM10 _(t-2)	0.037 -1.1288	DLMAG_03	0.1143 -1.412
	ECMT _(t-1)	-0.1440** (-3.1392)	DLMAG_03	0.0861 -1.7396	DLTEMP	-0.495 (-1.7949)
	DUMMY	0.8637** -6.1676	DLTEMP _{t-2)}	0.2529* -1.8398	DLHM _{t-2)}	-0.1809 (-1.7752)
			DLHM _{t-2)}	0.1748 -1.5492	ECMT _(t-1)	-0.417** (-3.909)
			ECMT _(t-1)	-0.1267** (-1.6743)	DUMMY	0.3898 -2.7932
			DUMMY	0.9289** -6.7336		

Notas:

C = Constante , TD = Tendencia Determinística () =t-estadística

Los asteriscos * y ** indican rechazo de la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5% y del 1%, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia

- ❖ El conjunto de modelos realizados para el primer grupo de asma corresponde de 0 a 4 años de edad arrojó los siguientes resultados:
- ❖ El primero se estimó tomando como variable dependiente la tasa de crecimiento del grupo de 0 a 4 años (DLASMA4) sin separarlo por temporada de frío o calor. En éste se identificó la incidencia que tiene el PM_{10} en la variable dependiente, pues resultó ser estadísticamente significativo de forma positiva, es decir por cada variación porcentual de PM_{10} la variable dependiente DLASMA4 variaría en 0.16 por ciento.
- ❖ Al estimar el modelo en la temporada de frío se identificó que el PM_{10} tienen una correlación positiva con la variable dependiente (DLASMA4f), es decir un incremento de 1 por ciento de PM_{10} repercute a grosso modo en un crecimiento del número de nuevos casos en las semanas de frío (DLASMA4f) en 0.22 por ciento.
- ❖ La especificación para la temporada de calor arrojó que el ozono guarda una relación directa en el número de nuevos casos de asma de 0 a 4 años, la magnitud es por cada incremento de 1 por ciento de ozono el crecimiento del número de nuevos casos en las semanas de calor (DLASMA4c) es 0.27 por ciento.
- ❖ Los resultados anteriores nos están indicando en primer lugar que el ozono y el PM_{10} afectan de forma distinta dependiendo de las condiciones climatológicas, pues para este grupo de edad el PM_{10} incide de manera estadísticamente significativa en la temporada de frío, mientras que el ozono lo hace en la temporada de calor. Los resultados se muestran en el cuadro 4.4

Cuadro 4.3. Modelos dosis-respuesta de corto plazo del grupo etario de asma de 0 a 4 años

Variables dependientes	DLASMA4		DLASMA4f		DLASMA4c	
Variables independientes	DLASMA4 _(t-2)	-0.149**	DLASMA4f _(t-2)	-0.1871**	DLASMA00_04 _(t-2)	-0.1275
		-2.253		(-2.1418)		(-1.4386)
	DLPM10	0.1644**	DLPM10	0.1192**	DLPM10 _(t-2)	0.1057
		-3.02		-2.2563		-1.0252
	ECM4L _(t-1)	-0.378**	DLPM10 _(t-2)	0.1013*	DLMAG_03	0.2722*
		(-5.305)		-1.8029		-1.9225
	DUMMY	1.1669**	ECM4frio _(t-1)	-0.4116**	DLTEMP	-1.4831**
		-2.465		(-3.8715)		(-2.2959)
			DUMMY	1.3201**	DLHM _(t-2)	-0.4617*
				-3.3693		(-1.9312)
			DLMAG_03	0.0798	ECMT _(t-1)	-0.5390**
				-0.8715		(-4.9694)
		DLHM _(t-2)	0.2557	DUMMY	1.6606**	
			-1.2436		-5.0561	

Notas:

1. C = Constante, TD = Tendencia Determinística () =t-estadística
2. Los asteriscos * y ** indican rechazo de la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5% y del 1%, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los resultados de los grupos de edad correspondientes de 5 a 14 años de edad indica que sólo el PM₁₀ incide de forma positiva a la variable dependiente en la temporada de frío. En el grupo de 15 a 64 años de edad se encontró que el ozono repercute de manera directa en la variable dependiente. El análisis de las elasticidades correspondientes a cada modelo se interpreta de la misma forma que se hizo en el grupo de 0 a 4 años. Cabe mencionar que en el grupo de 65 años y más de edad el ozono ni el PM₁₀ no fueron estadísticamente significativos. Ver cuadro 4.5, Por lo anterior, el análisis en el resto de este estudio se enfoca a solo 3 grupos etarios.

Todos los modelos presentados en el cuadro 4.5 cumplen satisfactoriamente con los supuestos básicos de los mínimos cuadrados ordinarios las pruebas correspondientes se encuentran en el anexo 2.

Cuadro 4.5. Modelos de corto plazo de los grupos etarios: 5 a 14, 15 a 64 y 65 años y más de asma

Modelos de largo plazo por grupo etario de 05 a 14 años por temporada de frío y calor						
Variables dependientes	ASMA 2004-2007		ASMA FRÍO		ASMA CALOR	
Variables independientes	DLASMA _(t-1)	-0.3157** (-4.4320)	DLASMA14 _(t-2)	-0.0906 (-0.9809)	DLASMA14 _(t-2)	-0.1545 (-1.5817)
	DLPM10 _(t-1)	0.1063** -2.1902	DLPM10 _(t-1)	0.1746** -2.7221	DLPM10	0.0654 -0.8387
	DLMAG_03	-0.0583 (-0.7512)	DLMAG_03 _(t-1)	0.0508 -0.4388	DLPM10 _(t-2)	0.0416 -0.5452
	DLTEMP	-0.4213 (-1.6768)	DLMAG_03 _(t-2)	0.1458 -1.3437	DLMAG_03	0.0014 -0.0128
	DLHM	-0.4031 (-2.6342)	DLTEMP _(t-2)	0.3489 -1.0877	DLTEMP _(t-1)	-0.9396* (-1.869)
	ECM14to _(t-1)	-0.372** (-4.49)	DLHM _(t-2)	0.195 -0.7588	ECM14calor _(t-1)	-0.6802** (-5.8151)
	DUMMY	0.6905** -4.4489	ECM14frío _(t-1)	-0.8364** (-6.8673)	DUMMY	0.6265** -3.2014
			DUMMY	0.6827** -2.6027		
Modelos de corto plazo por grupo etario de 15 a 64 años por temporada de frío y calor						
Variables independientes	DLASMA _(t-1)		DLPM10 _(t-2)	0.0094 -0.269	DLASMA _(t-1)	-0.1712 (-1.8192)
	DLPM10 _(t-2)	0.0467 -1.6446	DLMAG_03	0.1333** -2.1193	DLPM10 _(t-2)	0.0372 -0.7764
	DLMAG_03	0.0336 -0.7429	DLMAG_03 _(t-2)	0.0648 -1.0578	DLMAG_03 _(t-2)	0.1389 -1.4161
	ECM64T _(t-1)	-0.4588** (-5.9898)	DLHM _(t-2)	0.206 -1.4862	DLHM _(t-2)	-0.270** (-2.1846)
	DUMMY	0.4159** -4.164	ECM64Frío _(t-1)	-0.4131** (-3.6449)	ECM14C _(t-1)	-0.557** (-4.7508)
			DUMMY	0.3514 -2.9637	DUMMY	0.5818** -3.203

Modelos de corto plazo por grupo etario de 65 años Y más por temporada de frío y calor						
Variables independientes	DLASMA _(t-2)	-0.1505** (-2.3569)	DLASMA _(t-2)	-0.2250* (-1.9337)	DLASMA _(t-1)	-0.5138** (-3.8424)
	DLPM10	0.1038 -1.3752	DLPM10 _(t-2)	0.0095 -1.0223	DLASMA _(t-2)	-0.2646** (-2.2890)
	DLMAG_03	0.1025 -0.8396	DLMAG_03	0.1812 -1.1061	DLMAG_03 _(t-2)	0.2748 -0.9415
	DLHM _(t-2)	0.4688* -1.879	ECM65Frío _(t-1)	-0.4082** (-2.2790)	DLMAG_03 _(t-1)	0.0245 -0.1241
	ECM65T _(t-1)	-0.8238** (-7.6438)	DUMMY	0.8067** -4.0095	DLPM10	0.1343 -0.8806
	DUMMY	0.7285** -6.3062			ECM65calor _(t-1)	-0.4762** (-2.0454)

Notas:

1. C = Constante , TD = Tendencia Determinística () =t-estadística
2. Los asteriscos * y ** indican rechazo de la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5% y del 1%, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 4.6 sintetiza las elasticidades de corto plazo por temporada de frío y calor de PM10 y ozono.

Cuadro 4.6. Resumen de elasticidades de corto plazo de todos los grupos etarios del ozono y PM₁₀

Elasticidades de corto plazo, sub grupo 0 a 4 años por temporada de frío y calor					
Elasticidad corto plazo frío		Elasticidad corto plazo calor		Elasticidad corto plazo total	
DLPM10**	0.2205	DLPM10	0.1057	DLPM10**	0.1644
DLMAG_03	0.0798	DLMAG_03**	0.2733		
Elasticidades de corto plazo, sub grupo 5 a 14 años por temporada de frío y calor					
DLPM10**	0.1746	DLPM10	0.107	DLPM10** _(t-1)	0.1063
DLMAG_03	0.1966	DLMAG_03	0.0014		
Elasticidades de corto plazo, sub grupo 15 a 64 años por temporada de frío y calor					
DLPM10	0.0094	DLPM10	0.0372	DLPM10* _(t-2)	0.0467
DLMAG_03**	0.1981	DLMAG_03	0.1389		
Elasticidades de corto plazo , sub grupo 65 años y más por temporada de frío y calor					

DLPM10	0.0095	DLPM10	0.1343
DLMAG_03	0.1812	DLMAG_03	0.2993

Notas:

Elaboración propia

1. C = Constante , TD = Tendencia Determinística () =t-estadística
 2. Los asteriscos * y ** indican rechazo de la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5% y del 1%, respectivamente.
-
-

Fuente: Elaboración propia

V. COSTOS SOCIALES DE LA CONTAMINACIÓN

En el presente capítulo se realizaron las estimaciones para cuantificar en términos monetarios los beneficios que pudiera tener la población de Mexicali si disminuyeran los niveles de contaminación actuales. Para realizar las estimaciones correspondientes, fue necesario obtener los costos directos e indirectos que se asumen por parte de las instituciones o de manera privada un individuo que padece asma. El costo económico del asma es notablemente alto, e incluye los costos médicos directos, es decir hospitalización, tratamientos farmacéuticos y honorarios médicos; mas los costos indirectos, es decir, la merma en la producción de la sociedad expresada a través de las horas de trabajo perdidas.

En la mayoría de los países, los costos directos representan aproximadamente entre 1 y el 3 por ciento del gasto médico total (Bousquet, et al, 2005). El costo económico del asma incide de forma directa en el bienestar de la sociedad y en los servicios de salud. De acuerdo con datos de Organización Mundial de la Salud (OMS), el costo económico asociado al asma a nivel mundial se estima que excede al gasto que representa combatir la tuberculosis, el VIH y el SIDA juntos (OMS, 2006).

5.1 Estimación de la variación del número de nuevos casos de asma y padecimiento asmático

Una vez obtenidos los coeficientes o las sensibilidades entre el contaminante y el número de casos de asma obtenidas en el capítulo IV es posible incluirlas en la siguiente ecuación llamada función dosis-respuestas sugeridas por Ostro, 1994 (Sánchez, Valdés y Ostro, 1998).

$$dHi = \beta * POPi * dA$$

En donde:

dHi = Cambio del número de casos de asma de la Mexicali del efecto i

β = Pendiente de la función dosis-respuesta i

dA = Cambio en la contaminación atmosférica bajo consideración

El cálculo del cambio en la contaminación atmosférica generalmente se estima con base en las normas establecidas en los estándares de calidad del aire correspondientes a las normas legales de cada país. Sin embargo en la presente investigación se decidió considerar tres escenarios de reducción de contaminación bajo el supuesto de tres escenarios. La decisión se tomó debido a que aún no se han encontrado umbrales en los cuales la población es afectada ante diferentes niveles de contaminación específicamente de PM_{10} . Por lo anterior, se consideraron tres escenarios, suponiendo en el escenario bajo una reducción del 15 por ciento de PM_{10} y Ozono, para el escenario medio una reducción del 25 por ciento y para el escenario alto una reducción del 50 por ciento.

En el cuadro 5.1 se muestra el número de casos nuevos de asma y estado asmático por grupo etario correspondientes a la jurisdicción 01, Mexicali del periodo 2004 a 2007 por temporada de frío y calor.

Cuadro 5.1: Suma del número de casos nuevos de asma y padecimiento asmático, Mexicali 2004-2007

	Consultas temporada de frío	Consultas temporada de calor	Totales
casos asma 0-4	1496	947	2443
casos asma 5-14	1919	1661	3580
casos asma 15-64	5390	4961	10351
casos asma 65 y más	522	386	908
TOTAL	9327	7955	17282

Fuente: Elaboración propia

Considerando los tres escenarios bajo, medio y alto, el número de casos de asma por temporada de frío y calor, y las elasticidades estadísticamente significativas de cada grupo

etario, se obtuvo el número de casos nuevos de asma ante reducciones PM₁₀ y ozono, ver cuadro 5.2.

Cuadro 5.2: Número de casos evitados de asma ante reducciones del PM10 y ozono

Grupos etarios	Escenarios		
	Bajo	Medio	Alto
Asma de 0-4 años	88	147	294
Asma de 5-14 años	48	80	161
asma de 15-64 años	252	419	838
TOTAL	388	647	1294

Fuente: Elaboración propia

5.1. Costos económicos

Una vez calculadas las funciones de dosis-respuesta de un contaminante y los efectos que éste provoca, el uso de los costos económicos relacionados a la enfermedad es un método para valorar económicamente la pérdida de bienestar de la sociedad. El valor se obtiene a través de los costos directos e indirectos en que incurre la sociedad debido a los costos de tratamiento médico y la pérdida de días laborados y de productividad por incurrir en enfermedad.

Los método de costos evitados o costos económicos que aquí presentamos, como expliqué en el capítulo dos de esta tesis, subestima el costo real del fenómeno de enfermedad por contaminación, ya que el costo de tratamiento no es el costo total de la enfermedad. A dichos costos habrá que agregar los que se refieren a la incapacidad para disfrutar del tiempo libre, el costo que el propio malestar supone para la persona enferma, y el costo que para la familia y sus amigos representa el malestar del individuo enfermo.

5.1.1 Costos directos

Los costos directos son aquellos que incluyen los costos relacionados con la enfermedad, e incluyen los costos de tratamiento, controles médicos, exámenes, días de cama por hospitalización etc. Los costos de diagnóstico y tratamiento del asma que se tomaron para cuantificar el costo directo del número de nuevos casos anuales evitados de asma fueron los reportados por la Secretaría de Salud (SSA) del año 2002 los cuales ascendieron a 9,417.14 pesos por paciente por año.

Con base en dicho monto, considerado como el costo de diagnóstico y tratamiento del asma por paciente durante 2002, se actualizó la cifra tomando en cuenta el índice de precios del consumidor IPC por objeto del gasto en salud de Mexicali, base 2002, tal como se muestra en el cuadro 5.3.

Cuadro 5.3. Costos directos reales por beneficiario

	Costo directo real por beneficiario por año
2004	10623.318
2005	11356.327
2006	11933.228
2007	12638.482

Fuente: Elaboración propia con datos de SSA y Banco de México

El cuadro 5.4 muestra el número de casos nuevos evitados anuales de asma y los costos directos evitados anuales bajo tres escenarios de reducción de los niveles actuales de contaminación. Los escenarios tomados corresponden a reducciones del 15, 25 y 50 por ciento de ozono y PM₁₀, tal y como lo refleja el cuadro 5.2.

Cuadro 5.4. Costos Directos reales de incidencia de asma anual de Mexicali 2004-2007

	Casos evitados de Asma			Costos directos reales del número de nuevos casos evitados de asma		
	Escenarios			Escenarios		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
2004	76	126	253	\$ 805,282.64	\$ 1,342,137.74	\$ 2,684,275.48
2005	79	132	265	\$ 901,380.89	\$ 1,502,301.48	\$ 3,004,602.95
2006	58	97	193	\$ 691,277.04	\$ 1,152,128.40	\$ 2,304,256.81
2007	175	292	583	\$ 2,212,161.68	\$ 3,686,936.14	\$ 7,373,872.28
Total	388	647	1294	\$ 4,610,102.26	\$ 7,683,503.76	\$ 15,367,007.52

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Costos indirectos

Los costos indirectos son los que se contabilizan como una disminución en la productividad laboral de la sociedad. Esta sección se refiere a los costos indirectos, tal como lo sugiere Carranza y Richard (2006), estimando los días de trabajo perdidos o los días de ausentismo laboral, y los días de actividad restringida. Estos últimos representan el costo que enfrenta cualquier individuo al verse obligado a llevar a consulta a un miembro de la población económicamente inactiva, como pudiera ser un bebé, una niña o niño, o un adulto mayor. Los costos diarios por ausentismo laboral se calcularon tomando en cuenta el salario mínimo general (pesos por día), actualizado considerando el IPC, base 2002, del Banco de México, para el periodo 2004-2007; se consideró 21.7 días laborales activos al mes (tomando en cuenta sólo 5 días laborados a la semana). Estos costos resultan de las cifras de dosis-respuesta de la población de edades 15 a 64.

Los costos diarios por actividad restringida se calcularon con base en la especificación de Ostro (1994), retomada por Carranza y Richard (2006), en la cual el 20 por ciento del día laboral resulta en pérdida de trabajo, y del 80 por ciento restante se pierde un tercio de la productividad laboral. Estos costos resultan de las cifras de dosis-respuesta de la población de edades, ya que el 86% de la población de edades 15-64 pertenecen a la

PEA. Los costos por actividad restringida y ausentismo laboral por día se muestran en el cuadro 5.5.

Cuadro 5.5. Costo diario de ausentismo laboral y actividad restringida en Mexicali 2004-2007

	Salario mínimo real área geográfica A (pesos)	Días laborales al mes	salario anual real por persona (pesos)	Costo diario de ausentismo laboral (pesos)	Costo diario de actividad restringida (pesos)
2004	39.6	21.7	51543.1	198.2	92.5
2005	43.8	21.7	57005.5	219.3	102.3
2006	45.2	21.7	58875.5	226.4	105.7
2007	47.1	21.7	61335.5	235.9	110.1

Fuente: Elaboración propia con datos del banco de México

El cuadro 5.6 muestra el número de casos nuevos de asma evitados por grupo etario en cada año, estimados con base en las funciones dosis-respuesta correspondientes a cada grupo de edad bajo los tres escenarios de disminución de ozono y PM₁₀ ya antes referidos.

Cuadro 5.6. Casos de asma evitados bajo tres escenarios de disminución de los niveles Ozono y PM₁₀, Mexicali 2004-2007

Casos de asma evitados anuales por grupo etario				
Escenario Bajo				
casos evitados	2004	2005	2006	2007
casos asma 0-4	18	17	13	40
casos asma 5-14	11	11	9	17
casos asma 15-64	46	51	36	118
Total	76	79	58	175
Escenario Medio				
casos evitados	2004	2005	2006	2007
casos asma 0-4	31	28	22	66
casos asma 5-14	19	18	15	29
casos asma 15-64	77	85	60	197
Total	126	132	97	292
Escenario Alto				

casos evitados	2004	2005	2006	2007
casos asma 0-4	62	57	44	132
casos asma 5-14	37	37	29	57
casos asma 15-64	154	171	120	394
Total	253	265	193	583

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de los costos indirectos evitados del asma por grupo de edad se obtuvo anualmente tomando el número de casos evitados del cuadro 5.4 y el costo diario de ausentismo laboral y el costo diario de actividad restringida presentados en el cuadro 5.3. Como ya se comentó, el número de casos evitados se ajustaron debidos a que no todos los adultos que acompañan a consulta a la población inactiva (bebés, niños, niñas y adultos mayores) se encuentran ocupada. El ajuste que se realizó a los dos primeros grupos de edad, es decir el grupo de 0 a 4 y de 5 a 14 años de edad. El ajuste se realizó multiplicando cada caso evitado por la proporción de la población económicamente inactiva respecto a la población ocupada, dicha proporción asciende al 86 por ciento. La proporción se estimó con base al XII censo de población y vivienda del INEGI. Los resultados anuales se muestran en el cuadro 5.7.

Cuadro 5.7. Costos indirectos evitados anuales de asma por grupo etario Mexicali 2004-2007

Costos indirectos evitados anuales del asma por grupo etario				
Escenario Bajo				
casos evitados	2004	2005	2006	2007
casos asma 0-4	\$ 14,715	\$ 13,521	\$ 10,411	\$ 31,607
casos asma 5-14	\$ 8,939	\$ 8,814	\$ 6,960	\$ 13,711
casos asma 15-64	\$ 91,336	\$ 112,475	\$ 81,736	\$ 278,543
Total	\$ 114,990	\$ 134,811	\$ 99,107	\$ 323,861
Escenario Medio				
casos evitados	\$ 2,004	\$ 2,005	\$ 2,006	\$ 2,007
casos asma 0-4	\$ 24,525	\$ 22,535	\$ 17,352	\$ 52,679
casos asma 5-14	\$ 14,899	\$ 14,690	\$ 11,599	\$ 22,851
casos asma 15-64	\$ 152,226	\$ 187,459	\$ 136,227	\$ 464,238

Total	\$ 191,650	\$ 224,684	\$ 165,179	\$ 539,769
Escenario Alto				
casos evitados	\$ 2,004	\$ 2,005	\$ 2,006	\$ 2,007
casos asma 0-4	\$ 49,050	\$ 45,071	\$ 34,704	\$ 105,358
casos asma 5-14	\$ 29,797	\$ 29,380	\$ 23,199	\$ 45,703
casos asma 15-64	\$ 304,453	\$ 374,918	\$ 272,455	\$ 928,476
Total	\$ 383,300	\$ 449,369	\$ 330,357	\$ 1,079,537

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los costos directos real por beneficiario y los costos indirectos obtenidos mostrados en los cuadros 5.3 y 5.7 se analizan en la siguiente sección en términos del producto interno bruto de Mexicali con base en el censo económico del 2004 del INEGI.

5.2. Asignación del valor monetario de los costos económicos en términos del PIB de Mexicali

La estimación de los costos económicos incluye el costo directo más los costos indirectos evitados del número de casos nuevos de asma. Como se mencionó estos se estimaron bajo tres escenarios de reducción de los niveles de ozono y PM₁₀. El cuadro 58 resume los costos directos e indirectos anuales de todos los grupos etarios.

Cuadro 5.8. Costos directos e indirectos anuales, Mexicali 2004-2007

	Costos Indirectos			Costos directos		
	Escenarios			Escenarios		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
2004	\$ 114,989.87	\$ 191,649.79	\$ 383,299.58	\$ 805,282.64	\$ 1,342,137.74	\$ 2,684,275.48
2005	\$ 134,810.60	\$ 224,684.34	\$ 449,368.68	\$ 901,380.89	\$ 1,502,301.48	\$ 3,004,602.95
2006	\$ 99,107.15	\$ 165,178.59	\$ 330,357.17	\$ 691,277.04	\$ 1,152,128.40	\$ 2,304,256.81
2007	\$ 323,861.16	\$ 539,768.60	\$ 1,079,537.20	\$ 2,212,161.68	\$ 3,686,936.14	\$ 7,373,872.28
Total	\$ 672,768.79	\$ 1,121,281.32	\$ 2,242,562.64	\$ 4,610,102.26	\$ 7,683,503.76	\$ 15,367,007.52

Fuente: Elaboración propia

Los costos económicos evitados del número de casos nuevos de asma en términos del producto interno bruto de Mexicali del año 2004, representan el 2.4 por ciento en el escenario menos optimista, el 4 por ciento en el escenario medio y el 7.9 en el escenario optimista.

Cuadro 5.9. Costos económicos anuales, Mexicali 2004-2007

	Costos Económicos		
	Escenarios		
	Bajo	Medio	Alto
2004	\$ 920,272.52	\$ 1,533,787.53	\$ 3,069,579.06
2005	\$ 1,036,191.49	\$ 1,726,985.82	\$ 3,455,976.64
2006	\$ 790,384.19	\$ 1,317,306.99	\$ 2,636,619.98
2007	\$ 2,536,022.84	\$ 4,226,704.74	\$ 8,455,416.48
Total	\$ 5,282,871.05	\$ 8,804,785.08	\$ 17,609,570.16
% del PIB 2004	2.4%	4.0%	7.9%

Fuente: Elaboración propia

VI. DISCUSIÓN

6.1. *El camino*

La problemática de la contaminación del aire planteada en la presente investigación se abordó desde una perspectiva integral, analizando y estudiando la cadena causa-efecto, y las repercusiones que la economía genera de manera adversa para sí misma. Es innegable que el progreso tecnológico y los procesos de urbanización hacen que las actividades desarrolladas en la sociedad sean más fáciles. Sin embargo, ante un ejercicio de análisis como el presente, conviene detenerse y preguntarse ¿cuáles son los efectos no deseados que estos procesos generan?

El interés planteado en este trabajo ha versado especialmente en los impactos a la salud y los costos económicos que de ello se derivan. El interés se derivó al reconocer la problemática de la contaminación del aire en un ámbito local, y considerar que calcular la sensibilidad o la respuesta que tiene el número de casos nuevos de asma a los niveles de ozono y PM_{10} existentes en Mexicali permitiría estimar esos costos. La estimación de las elasticidades o sensibilidades se realizaron con base en especificaciones causales, para identificar los determinantes (ozono y PM_{10}) y la magnitud en que inciden en el asma, es decir las funciones dosis-respuesta.

Las funciones dosis-respuesta se plantearon considerando la edad de la población afectada, dado que investigaciones médicas indican que la vulnerabilidad del cuerpo humano a los contaminantes varía por grupos de edad. En este sentido se separó en cuatro grupos etarios, y considerando las condiciones meteorológicas, se estimaron las especificaciones en temporada de frío y calor. De esta manera se procedió para responder a las siguientes preguntas:

- ❖ ¿Qué grupo etario es más sensible a la contaminación?
- ❖ ¿La contaminación afecta en la misma magnitud y forma en temporada de calor que en temporada de frío?

La herramienta utilizada para responder a las interrogantes planteadas, fue la econometría, específicamente los modelos de corrección de errores (ECM). Con el uso de ECM se pudo incorporar en las especificaciones de corto plazo, a través del vector de corrección de errores de la estimación de largo plazo, las variables omitidas en el análisis, es decir, los factores patológicos relacionados al asma, y las condiciones sociodemográficas de la población estudiada.

Nuestra investigación planteó tres escenarios de reducción de los niveles de ozono y PM_{10} , con la finalidad de obtener el número de nuevos casos que se podrían evitar si los actuales niveles de contaminación disminuyeran en un 15, 25 o 50 por ciento. Ese dato se obtuvo con base en las funciones dosis-respuesta calculadas. En esta parte del análisis las preguntas planteadas fueron:

- ❖ ¿A cuánto asciende el costo anual directo e indirecto evitado del número de nuevos casos de asma?

- ❖ ¿Cuánto es en términos porcentuales el monto de estos beneficios económicos con respecto al PIB de Mexicali?

Para responder a lo anterior se aplicaron los costos directos e indirectos para obtener el costo económico total del número de nuevos casos de asma que se evitarían en cada uno de los tres escenarios. Los costos directos incluyen el costo del diagnóstico y tratamiento de asma, mientras que los costos indirectos se estimaron tomando en cuenta el salario real perdido por un individuo durante los días no laborados en los que estuvo enfermo.

6.2. Los hallazgos

Las funciones dosis-respuesta de corto plazo planteadas permitieron identificar el grupo etario más sensible a la contaminación. Se encontró que el grupo de 0 a 4 años de edad es afectado en mayor magnitud en comparación a los demás grupos etarios. Se identificó que el PM_{10} en los meses de frío guarda una relación directa con el número de nuevos casos de asma. Específicamente, por cada unidad porcentual en la que aumente el nivel de PM_{10} , el número de nuevos casos de asma aumenta en 0.22 por ciento. En la temporada de calor, el contaminante que afecta de manera estadísticamente significativa directa es el ozono; por cada unidad porcentual de la variación del ozono, el número de casos nuevos de asma variaría en un 0.27 por ciento.

Estas variaciones son diferentes en cada grupo etario. En el grupo de 5 a 14 años de edad encontramos que el nivel de PM_{10} es estadísticamente significativo en la temporada de frío, mientras que el grupo de 15 a 64 años el ozono es estadísticamente significativo. Para el grupo de 65 años y más encontramos que ni el ozono ni el nivel de partículas PM_{10} son estadísticamente significativos bajo la diferentes especificaciones realizadas; es decir, para este grupo en particular no se encontró una reacción clara ante las variaciones en los niveles de de ozono y PM_{10} .

Con base en las funciones dosis-respuestas, se estimó el número de casos que podrían ser evitados de asma si las emisiones de emisiones de ozono y PM_{10} disminuyeran en 15, 25 y 50 por ciento, en lo que llamamos escenarios bajo, medio y alto respectivamente. En el escenario más conservador, se obtuvo un total de 388 casos de asma que podrían ser evitados durante el periodo analizado; en el escenario medio, 647 casos podrían ser evitados, y el escenario más ambicioso 1294 casos de asma serían evitados.

Los costos económicos equivalente a este número de nuevos casos evitados de asma representarían, a grosso modo, los beneficios económicos que la sociedad de Mexicali podría gozar si se redujera la contaminación conforme los escenarios planteados. Los costos económicos están compuestos por dos conjuntos de costos, es decir los costos directos e indirectos. Los costos directos incluyen los costos de tratamiento y diagnóstico

de asma, los cuales equivalen a 9,417.14 pesos por beneficiario por año, según datos de la Secretaría de Salud (SSA). Los costos directos evitados de asma se estimaron en términos reales anuales, en el escenario bajo en poco más de \$4.6 millones de pesos; en el escenario medio en casi \$7.7 millones, y el escenario alto en casi \$15.4 millones de pesos.

Los costos indirectos se estimaron tomando en cuenta del monto de salarios reales perdidos y ausentismo escolar. Dicho costo se estimó anualmente, tomando el número de casos evitados de asma en los tres escenarios. Las cifras obtenidas en el escenario bajo fue de 672,768 pesos para todo el periodo analizado, de más de \$1.1 millones en el escenario medio, y de poco más de \$2.2 millones en el escenario alto.

Como se observa los costos directos representan el mayor costo para la sociedad de Mexicali. En general los costos económicos evitados del número de nuevos casos de asma del 2004 en términos del PIB de Mexicali del ese año representan el 2.4 por ciento en el escenario bajo, el 4 por ciento en el escenario medio y el 7.9 por ciento en el alto.

En general los resultados obtenidos indican que los beneficios económicos para la sociedad de Mexicali del número de nuevos casos nuevos evitados de asma bajo los tres escenarios planteados de reducciones de los niveles de ozono y PM_{10} no son nada despreciables, lo anterior sugiere e incentiva la necesidad de políticas encaminadas a la reducción de la contaminación de Mexicali, la cual podría gozar de estos beneficios si la calidad del aire mejora.

6.3. Las principales fuentes de contaminación

Los resultados de la investigación muestran que la pobre calidad del aire de Mexicali incide de manera clara y directa en el número de nuevos casos de asma. Como se observó en los capítulos anteriores, los costos de estos son sumamente altos, lo suficiente para revisar alternativas de solución a través de la aplicación de políticas para mejorar la calidad del aire en esa ciudad. Las principales fuentes de emisiones proceden de fuentes móviles, específicamente del sector transporte en Mexicali. El ozono es consecuencia de reacciones

fotoquímicas, se sabe que es un contaminante secundario, es decir éste no es emitido directamente, sino se forma a través de procesos fotoquímicos en la atmósfera cuyos principales contaminantes precursores son los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos volátiles (COVs) producto de la mala combustión de los automóviles.

La principal fuente de emisión de PM₁₀ en Mexicali es producto de la falta de pavimentación y la precaria calidad vial de la ciudad. De acuerdo a las Estadísticas de Vehículos de Motor Registrados (INEGI, 2005) para 2005, la ciudad de Mexicali contaba con 422,357 vehículos. Similar a la mayoría de las ciudades del mundo las emisiones del sector transporte provienen de vehículos privados. Tanto las emisiones de NO_x que se derivan en ozono, como las PM₁₀ que provienen de la existencia de vialidades para los vehículos constituyen una externalidad que los propietarios de vehículos le imponen al resto de los habitantes de la ciudad, Es decir que los costos sociales producto de la contaminación atmosférica que aquí hemos identificado no son sólo altos, sino también inequitativos e injustos.

En los siguientes apartados revisaremos las medidas que el gobierno como intervención podría considerar en materia de política pública. Los costos de las diferentes alternativas de solución rebasan el ámbito del tema de este estudio, y no sería factible en los tiempos permitidos de la elaboración de la tesis, por lo que las propuestas se bosquejarán vigilando guardar realismo en las mismas.

6.4. Alternativas de acción

Las medidas para mejorar la calidad del aire de Mexicali es una tarea indiscutiblemente bilateral, es decir, debe ser diseñada por los gobiernos de Mexicali y Calexico, ya que el aire que se respira en la zona fronteriza es compartido entre estas ciudades, así como los problemas derivados de la mala calidad del aire. La cooperación y coordinación de ambos gobiernos debe ser formulada en función de las necesidades y dinámica de la población con la finalidad reducir las emisiones de contaminantes en el ambiente, pues a pesar de que se han realizado diversos esfuerzos como el Programa Frontera 2012, aún no se ha logrado mejorar sustantivamente la calidad del aire.

Las alternativas de acción que se proponen en este apartado están basadas únicamente en lo aprendido a lo largo de la presente investigación, sin que estas sean evaluadas a profundidad, es decir en términos de los costos y beneficios que estas medidas pudieran tener para la sociedad. Estas fueron pensadas en función de la información obtenida del inventario de emisiones de Mexicali, ya que éste identifica las principales fuentes de emisión y la participación porcentual de los sectores que contaminan la atmósfera. Asimismo, las sugerencias están basadas en distintas investigaciones sobre los principales factores de emisión de gases y partículas contaminantes en Mexicali. Con base en lo anterior se sabe que el sector transporte es el que contribuye con el mayor porcentaje en el monto de emisiones totales en Mexicali, siendo específicamente los autos particulares los que más emisiones emiten.

A) Control de la contaminación

La dinámica económica de la región fronteriza ha provocado que el flujo de vehículos se incremente, principalmente en las áreas cercanas a las garitas internacionales. Se sabe que el factor de emisión de NOx aumenta a menor velocidad de circulación (Tejada, Munfúfar y Aguilar, 2005), es decir, a mayor congestión de tráfico, mayor contaminación del aire. Un segundo factor que incrementa las emisiones es la combustión incompleta de combustibles en vehículos automotores, que conjuntamente con la mala calidad de los combustibles y la antigüedad del parque vehicular determina la magnitud del problema de emisiones vehiculares. En ese sentido, es oportuno mencionar que el parque vehicular de Mexicali está compuesto en gran parte por vehículos de importación, los cuales tienen por lo general una edad mayor a 10 años de antigüedad.

Por todo lo anterior, las medidas más importantes para disminuir las emisiones de contaminantes a la atmósfera que se proponen son las siguientes:

- ❖ Restringir la importación de vehículos, es decir sólo permitir la importación de automóviles menores o igual a 5 años de antigüedad.

- ❖ Agilizar el tránsito de los cruces en las garitas internacionales de Mexicali
- ❖ Programas enfocados en actualizar el parque vehicular, podría comenzarse por el transporte público.
- ❖ Mejorar el sistema de transporte público que no ocupe gasolina, tal como el metrobus o un tren ligero.
- ❖ Verificación vehicular puede ser una política pertinente, ya que esta medida hace que los que contaminan paguen y realicen acciones para disminuir las emisiones de gases y partículas a la atmósfera.

B) Medidas preventivas del sector Salud.

Las medidas que puede tomar el sector salud para disminuir los costos relacionados al asma son:

- ❖ Informar a la población en general la importancia de seguir el tratamiento y no suspenderlo ya que de otra manera la probabilidad de que recaer aumenta, así como los costos asociados a la enfermedad.
- ❖ Informar a la población la conveniencia de realizar actividades al aire libre después de las 5 de la tarde, ya que de 9 de la mañana a las 5 de la tarde se emiten y generan las mayores concentraciones de PM₁₀ y ozono respectivamente, factores que aumentan el número de nuevos casos de asma.

6.5. Conclusiones

Los efectos que produce la contaminación del aire en la salud humana se ha convertido en un problema mundial especialmente porque afecta negativamente la dinámica de las sociedades debido a los altos costos económicos que ésta genera. El presente estudio permitió cuantificar los costos económicos que podrían evitarse si la calidad del aire mejorara. De esta manera se puede dimensionar la problemática en términos monetarios, y generar conciencia sobre la importancia que tiene implementar programas encaminados a mejorar la calidad del aire con el objetivo de incidir positivamente en la calidad de vida de la población.

La metodología empleada en la presente investigación permitió obtener información relevante para entender los determinantes que explican el número de casos nuevos de asma por grupos etarios y los costos económicos relacionados a la enfermedad. De esta manera aterrizar la problemática que genera la mala calidad del aire en la salud humana, e identificar los posibles beneficios que pudiera gozar la población de Mexicali si la calidad del aire mejorara. Además nos permitió plantear algunas alternativas de política que coadyuven a aumentar la calidad de vida de la sociedad, mediante la aplicación específica de programas de calidad del aire en el sector transporte para combatir los problemas que esta genera en términos de salud.

Los efectos que la contaminación del aire produce en la salud humana como se encontró en la presente investigación tienen un carácter injusto e inequitativo, ya que los efectos recaen en los grupos de población más vulnerables como son los niños y la población con acceso limitado a los servicios de salud. La capacidad del planeta se encuentra en una fase muy frágil producto de las externalidades negativas que conllevan el quehacer diario. Es importante y de vital importancia tener presente que no podemos ignorar las causas y los problemas que generamos, pues de seguir así, sin una intervención inmediata de los gobiernos y la sociedad en la que se internalicen dichos efectos nos encontraremos cada día en una situación más vulnerable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfile Cohen M. Enero-Febrero 1993; “*Las Transformaciones de la Política Gubernamental en Materia Ecológica*”; Ecología y Modernización No. 52.
- Banco de México, (2008) Datos en Estadísticas <http://www.banxico.org.mx/polmoneinflacion/estadisticas/indicesPrecios/indicesPreciosConsumidor.html>
- Bravo Álvarez, Humberto. (1996), “*Perspectiva científica del problema de la contaminación atmosférica fotoquímica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: Revisión Histórica*”, Seminario Aire y Política: Acuerdos y Desacuerdos en Torno a la Contaminación Atmosférica de la Ciudad de México, El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano.
- Bravo, H., Roy-Ocotla, G., Sánchez, P. & Torres, R. (1991), “*Contaminación atmosférica por Ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: evolución histórica y perspectivas*”, Omnia (Rev de la Coor. Gral de Est. de Postgrado, UNAM, México) Volumen 7(23): 39-47.
- California Environmental Protection Agency of Air Resources Board. (<http://www.arb.ca.gov/adam/cgi-bin/db2www/adamweeklyc.d2w/start>)
- Carrasco C. y Richard C. (2006), “Beneficios económicos por reducción de contaminación atmosférica según grupos etarios en Temuco”, Departamento de Economía; Universidad de Concepción, Chile.
- Consejo Mexicano de Asma, 2005, Neumología y Cirugía de Tórax, vol. 64 suplemento .1
- Cromwell, J.B et al. (1994). Multivariate for time series models (Sage University paper series on quantitative application in the social sciences no. 07-100.
- Engel and Granger (1987), “*Co-integration and error correction: Representation, Estimation and Testing*”, Econometrica, vol. 55 No.2, pp. 251-256.
- EPA, SEMARNAT. Frontera 2012: *Programa ambiental México-Estados Unidos*, 2003.
- Freeman III, (1993), *The Measurement of environmental and resource values theory and methods*; Published by resources for the future; Washington D.C.
- Granger C. (1990), *Modeling economic series. Advanced text in econometrics*, Oxford University Press, New York.
- Gujarati D. (2003), *Econometría*, (4ta. Ed. en español 2004). México D.F. McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández-Cadena, Barraza-Villarreal, Ramírez-Aguilar, Moreno-Macías, MC,(1) Miller, Carbajal-Arroyo, Romieu; “*Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación*

con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua”, México; salud pública de México / vol.49, no.1, enero-febrero de 2007

Instituto Nacional de Ecología (2008). Los datos pueden consultarse en: http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/tend/valida_concentraciones.php

INE, SEMARNAP, (1999) *Programa para mejorar la calidad del aire 2000-2005*.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2008) Baja California, XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Tabulados Básicos

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2008) <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/conteos/conteo2005/bd/consulta2005/p5Mas.asp?s=est&c=10402>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2008) Datos en Sistema Municipal de Base de datos SIMBAD, <http://sc.inegi.gob.mx/simbad/index.jsp?c=125>

Kleiman M. (2000), “*The health effects of air pollution on children*”, *South Coast Air Management District, University of California, Irvine*.

Leyden P. (1998), “*Lecciones del caso de California: Uso de incentivos de mercado para descontaminar el aire; Ambiente y Desarrollo*”, vol. XIV No. 3 pp 44-48.

Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (Publicada en el D.O.F. de fecha 28 de enero de 1988) título primero; Disposiciones Generales.

Madala G. (1996), *Introduction to econometrics*; Second edition Prentice Hall.

Madala and Kim (1998), *Unit Roots and Co-integration and Structural Change*, UK: Cambridge University Press.

Miranda, J.J (2006), “*Impacto económico en la salud por contaminación del aire en Lima Metropolitana*”, Instituto de Estudios Peruanos, Consorcio de Investigación Económica y Social.

Molina T. and Molina M. (2002), *Air quality in the Mexico megacity, An Integrated Assessment*, Kluwer academic publishers.

Moore C. (2006), *Contaminación del Aire- Un manual para periodistas; centro de internacional para periodistas*, Washington D.C

Muñoz R, Jaimes M, Ortuño C, Granados G, (2007); “*Serie de análisis del sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de México*”; Dirección de monitoreo atmosférico /Dirección general de gestión de la calidad del aire/ Secretaría del medio ambiente del Distrito Federal.

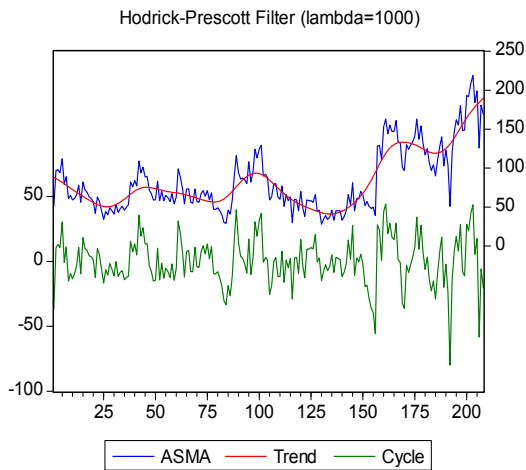
Nigenda G. Cifuentes E. y Duperval P. (2002); *Estimación del valor económico de reducciones en el riesgo de morbilidad y mortalidad por exposiciones ambientales*; Serie: Estudios INE; Dirección general de investigación de política y Economía Ambiental.

- Pope, C.A., R.T. Burnett, M.J. Thun, E.E. Calle, D. Krewski, K. Ito y G.D. Thurston. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association* 287(9): 1132
- INE (2003), *Programa Para Mejorar la Calidad del Aire ZMVM 2002-2010*; www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/394/cap10.pdf. Secretaria de Medio Ambiente recursos naturales y pesca, Secretaria de Salud.
- Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México, 1995-2000* Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaria de Medio Ambiente recursos naturales y pesca, Secretaria de Salud.
- Reyna A., “*Estudio basado en la regresión de Poisson, para conocer el grado de asociación que presentan las principales enfermedades respiratorias con los contaminantes del aire que rebasan los estándares en Mexicali e imperial*”; Informe parcial para LASPAU; UABC Campus Mexicali.
- Ruíz R. (2002); *La contaminación atmosférica por vehículos automotores en el valle de México: Un enfoque de política pública*, Tesis que para obtener el grado de Maestro en Gobierno y Asuntos Públicos; Facultad Latinoamericana de ciencias sociales, Sede México.
- Sánchez, S. Valdés y B.D. Ostro (1998); “*Los efectos en salud de la contaminación atmosférica por PM₁₀ en Santiago*”; Estudios Públicos, vol. 69.
- Seinfeld J. and Pandis S. (1998), *Atmospheric chemistry and physics; from air pollution to climate change*, A wiley-interscience publication John Wiley and Sons, INC. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore and Toronto.
- Sistema Nacional de Salud, Secretaría de Salud, Dirección General de Epidemiología SINAVE.
- SEMARNAT (2008); Inventario de Emisiones De Mexicali (1996), <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelaire/Pages/InventarioNacionaldeEmisiones.aspx>
- Téllez-Rojo M. et al. (1997); “Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México”; salud pública de México / vol.39, no.6.
- Van der Sluijs P.J. (2002); “Integrated Assessment”; vol. 4 Responding to global environmental change, pp 250-253; Edited by Dr. Mostafa K Tolba in *Encyclopedia of Global Environmental Change*.
- Zuk M, Tzinzum M.G, Rojas M (2007); *Tercer almanaque de datos y tendencias en nueve ciudades mexicanas*, impreso por INE-SEMARNAT.

ANEXO 1: GRÁFICAS DE LAS VARIABLES UTILIZADAS EN LOS MODELOS DOSIS-RESPUESTA DE MEXICALI: 2004-2007

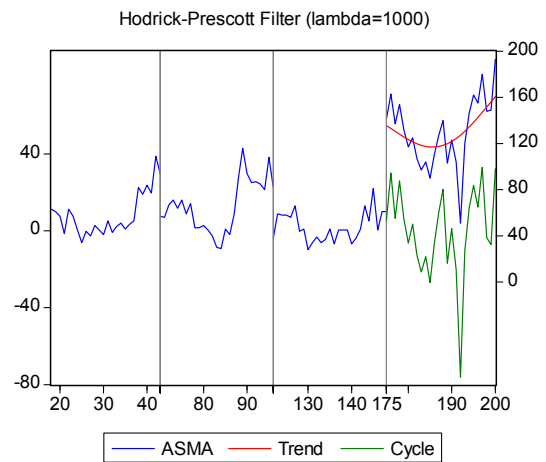
Las siguientes gráficas corresponden a las variables utilizadas en los modelos dosis-respuesta, donde el eje de las abscisas indica las semanas de la temporada completa, frío y calor según el orden en que están presentadas, mientras que el eje de las ordenadas muestra el número de casos de asma. El orden y formato es el mismo para todas las graficas presentadas en esta sección.

Asma número de casos semanales

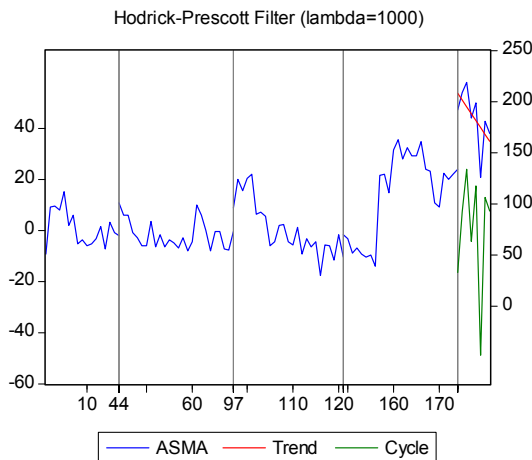


Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Asma número de casos semanales
temporada de
calor



Asma número de casos semanales
temporada de frío

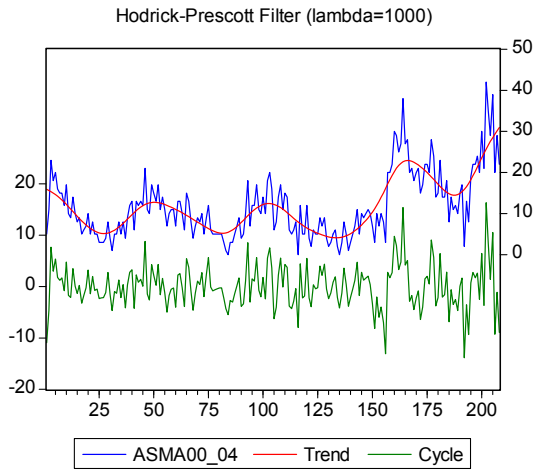


Estadísticas descriptivas

	ASMA	ASMA FRÍO	ASMA CALOR
Media	83	91	75
Mediana	69	76	60
Máximo	219	219	193
Mínimo	28	30	28
Std. Dev.	41	42	39
Jarque-Bera	43	23	20
Sum	17282	9327	7955
Obs.	208	102	106

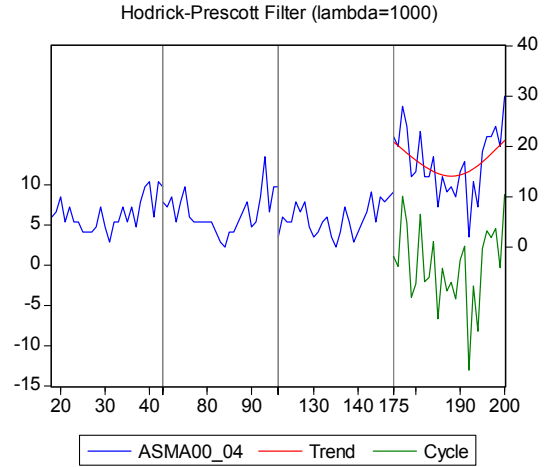
Fuente : Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 0 a 4 años



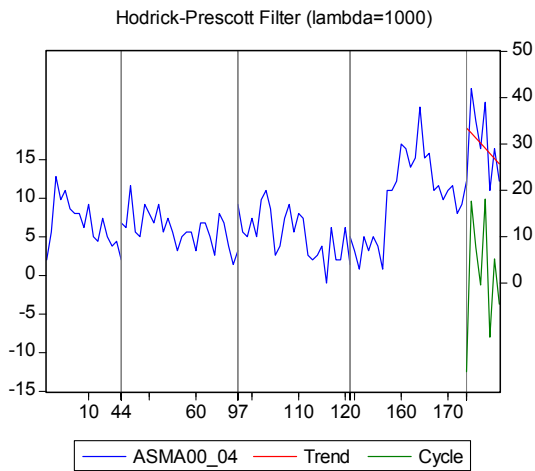
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 0 a 4 años frío



Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 0 a 4 años frío



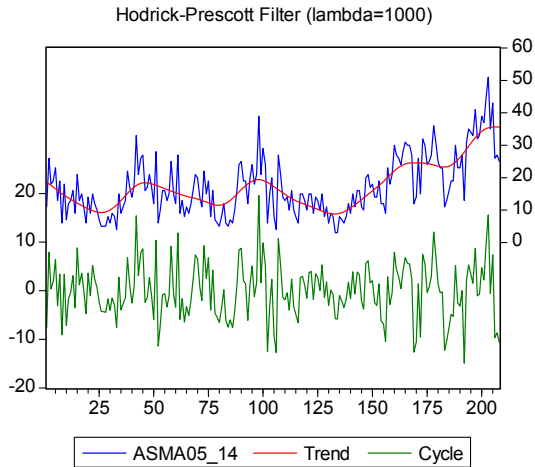
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Estadísticas descriptivas

	ASMA00_04	ASMA00_04Frío	ASMA00_04Calor
Media	12	15	9
Mediana	10	13	8
Máximo	42	42	30
Mínimo	0	0	0
Std. Dev.	8	8	6
Jarque-Bera	63	24	30
Sum	2443	1496	947
Obs.	208	102	106

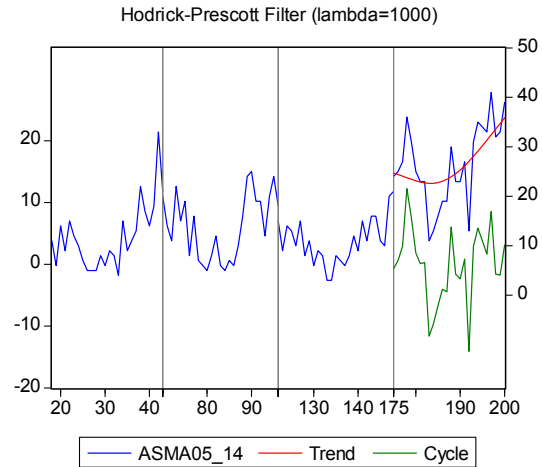
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 5 a 14 años



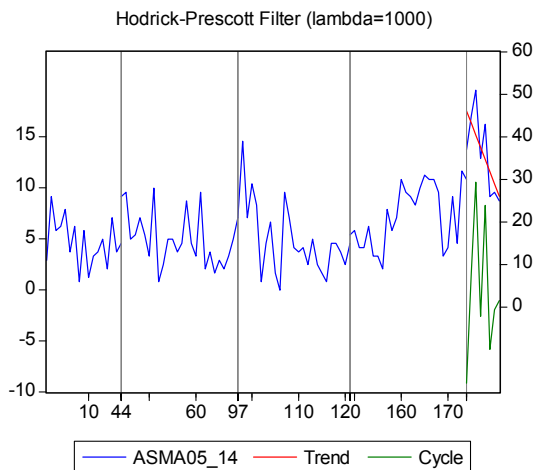
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 5 a 14 años calor



Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 5 a 14 años frío



Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

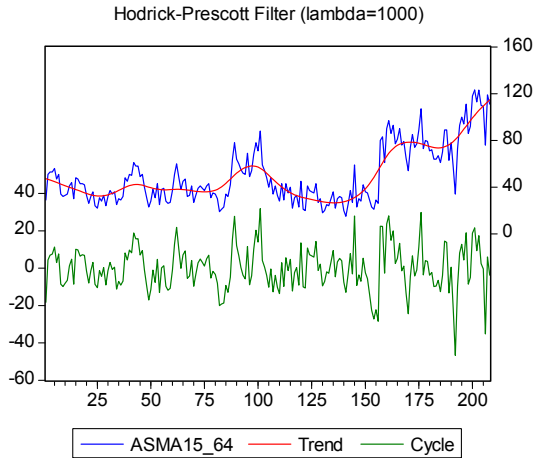
Estadísticas descriptivas

	ASMA05_14	ASMA05_14frío	ASMA05_14Calor
Media	17	19	16
Mediana	15	16	14
Máximo	51	51	41
Mínimo	3	4	3
Std. Dev.	9	9	9
Jarque-Bera	29	21	12
Sum	3580	1919	1661
Obs.	208	102	106

Fu

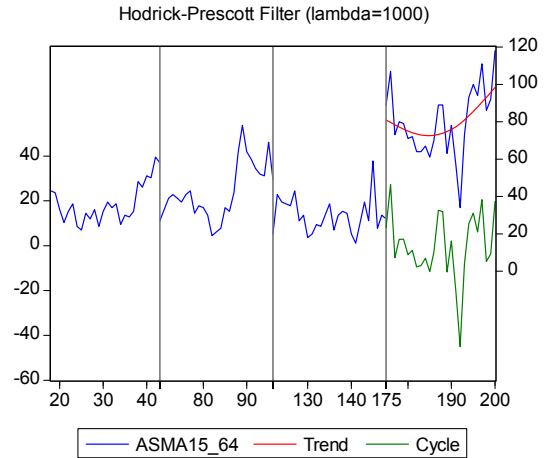
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 15 a 64 años



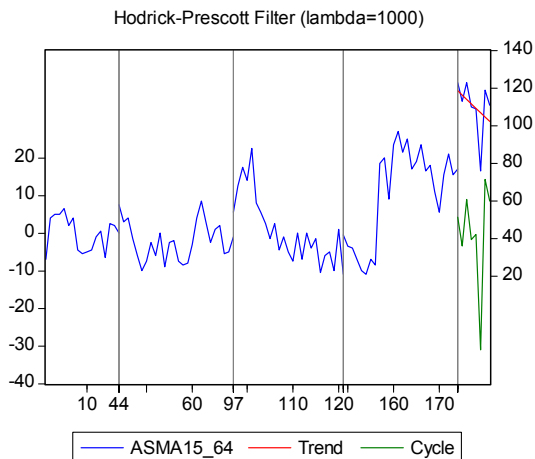
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 15 a 64 años calor



Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 15 a 64 años frío



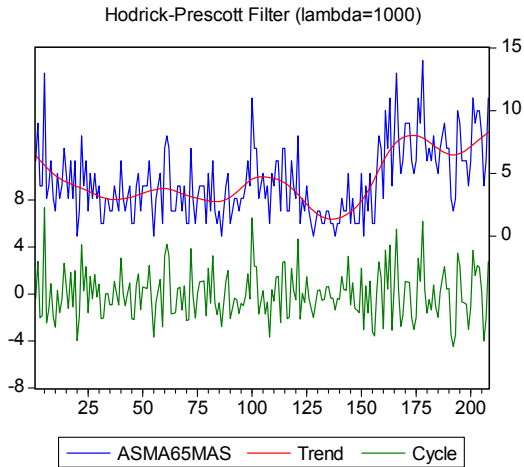
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Estadísticas descriptivas

	ASMA15_64	ASMA15_64frío	ASMA15_64calor
Media	50	53	47
Mediana	42	45	37
Máximo	123	123	118
Mínimo	15	21	15
Std. Dev.	25	26	24
Jarque-Bera	39	19	19
Sum	10351	5390	4961
Obs.	208	102	106

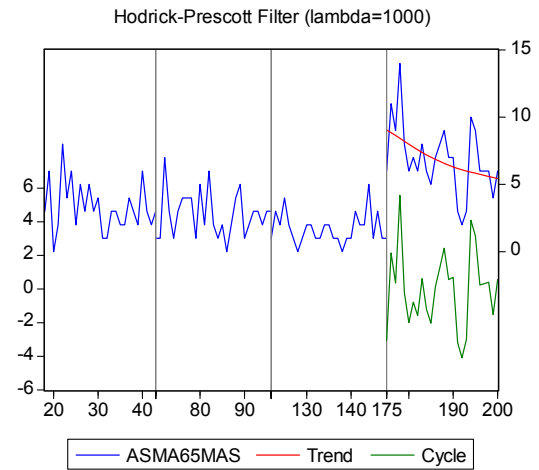
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 65 años y más



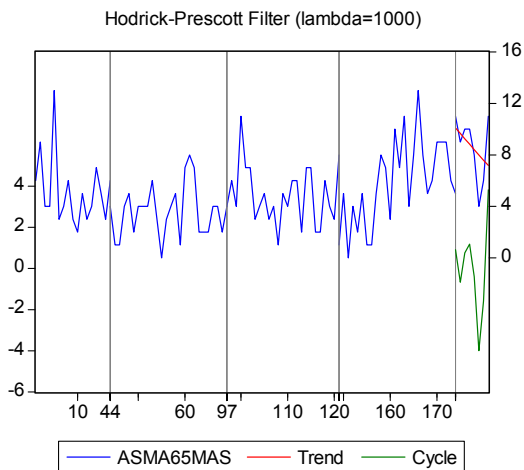
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 65 años y más



Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Número de casos semanales de Asma de 65 años y más frío



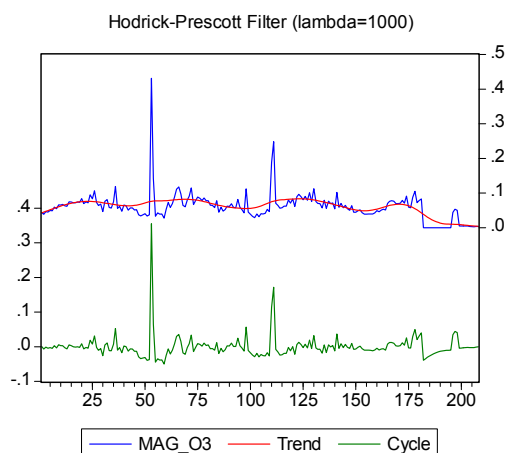
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Estadísticas descriptivas

	ASMA65MAS	ASMA65MAS	ASMA65MAS
Media	4	5	4
Mediana	4	5	3
Máximo	14	13	14
Mínimo	0	0	0
Std. Dev.	3	3	3
Jarque-Bera	24	6	29
Sum	908	522	386
Obs.	208	102	106

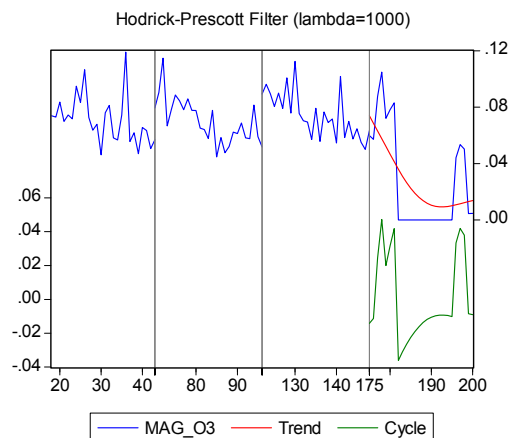
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAVE

Promedio móvil de ocho horas ozono



Fuente: Elaboración propia con datos del SINAICA

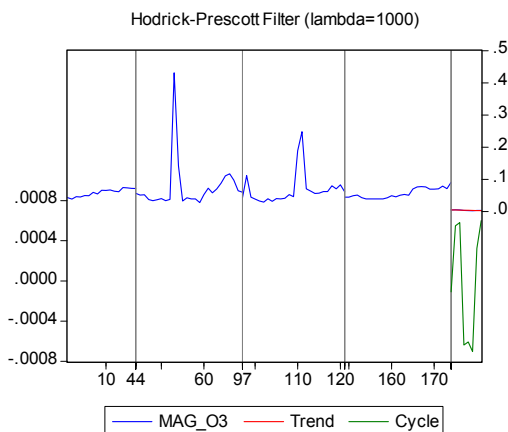
Promedio móvil de ocho horas ozono calor



Fuente: Elaboración propia con datos del SINAICA

Estadísticas descriptivas

Promedio móvil de ocho horas ozono frío

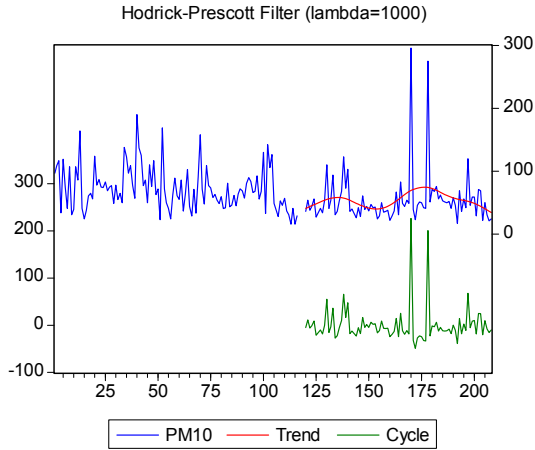


Fuente: Elaboración propia con datos del SINAICA

	MAG_O3	MAG_O3 frío	MAG_O3 calor
Media	0.0605	0.0601	0.0609
Mediana	0.0594	0.0512	0.0654
Máximo	0.4314	0.4314	0.1190
Mínimo	0.0000	0.0028	0.0000
Std. Dev.	0.0410	0.0502	0.0298
Jarque-Bera	9911.4390	4073.8200	13.0207
Sum	12.5846	6.1312	6.4534
Obs.	208.0000	102.0000	106.0000

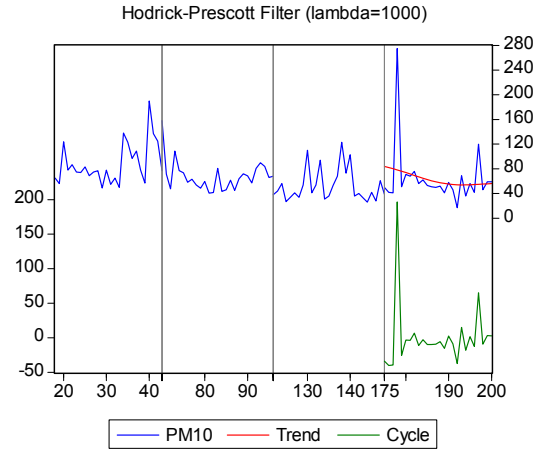
Fuente: Elaboración propia con datos del SINAICA

Promedio aritmético PM₁₀



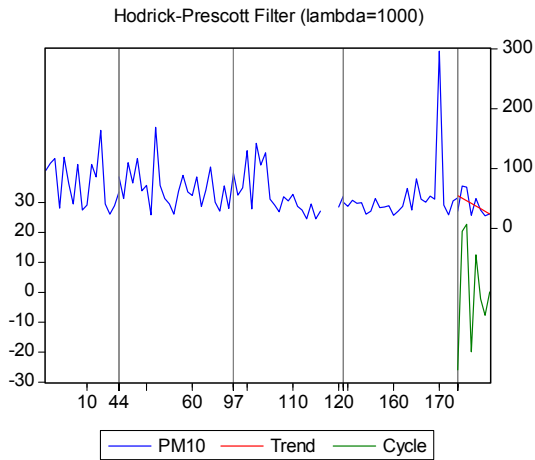
Fuente: Elaboración propia con datos de DGICURG y ARB

Promedio aritmético PM₁₀ calor



Fuente: Elaboración propia con datos de DGICURG y ARB

Promedio aritmético PM₁₀ frío



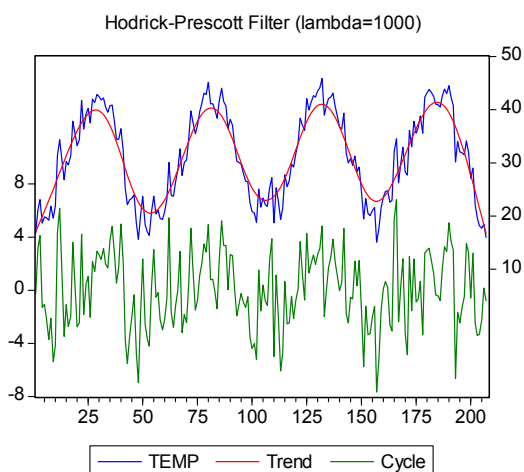
Fuente: Elaboración propia con datos de DGICURG y ARB

Estadísticas descriptivas

	PM10	PM10 frío	PM10 calor
Media	64.42	60.77	67.82
Mediana	55.00	49.00	59.00
Máximo	296.00	296.00	275.00
Mínimo	16.00	16.00	17.00
Std. Dev.	38.39	40.88	35.76
Jarque-Bera	1061.96	509.87	591.26
Sum	13205.10	6016.70	7188.40
Obs.	205.00	99.00	106.00

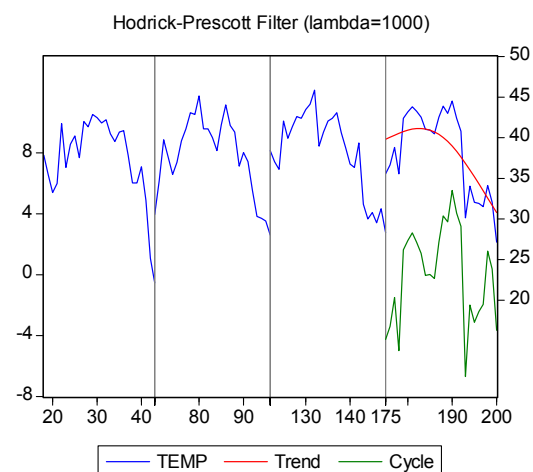
Fuente: Elaboración propia con datos de DGICURG y ARB

Temperatura



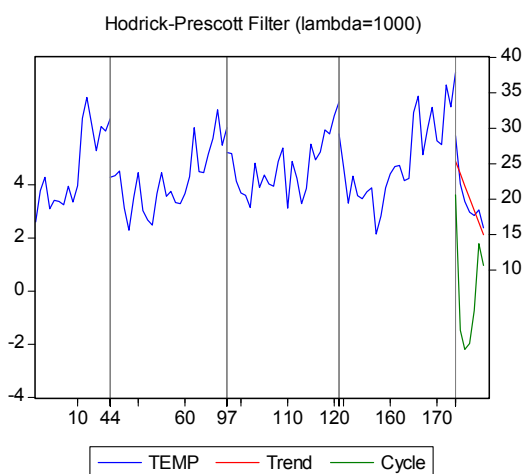
Fuente: Elaboración propia con datos del ARB

Temperatura calor



Fuente: Elaboración propia con datos del ARB

Temperatura frío



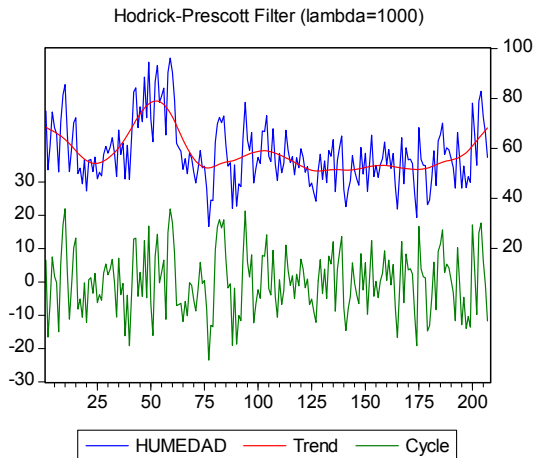
Fuente: Elaboración propia con datos del ARB

Estadísticas descriptivas

	TEMP	TEMPfrío	TEMPcalor
Media	31.19	24.12	37.93
Mediana	31.35	23.17	39.29
Máximo	45.87	37.86	45.87
Mínimo	15.08	15.08	22.14
Std. Dev.	8.55	5.11	4.97
Jarque-Bera	15.17	5.71	11.17
Sum	6456.17	2435.69	4020.48
Obs.	207.00	101.00	106.00

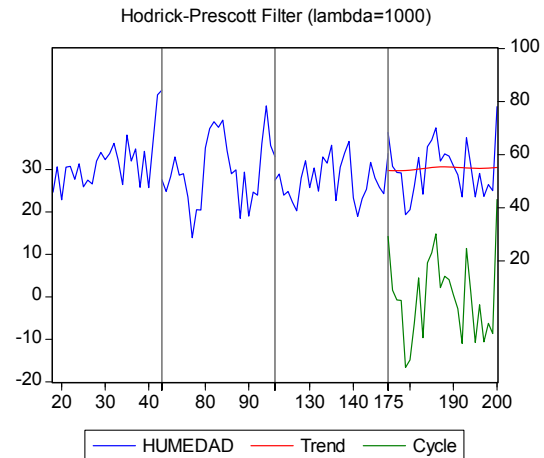
Fuente: Elaboración propia con datos del ARB

Humedad relativa



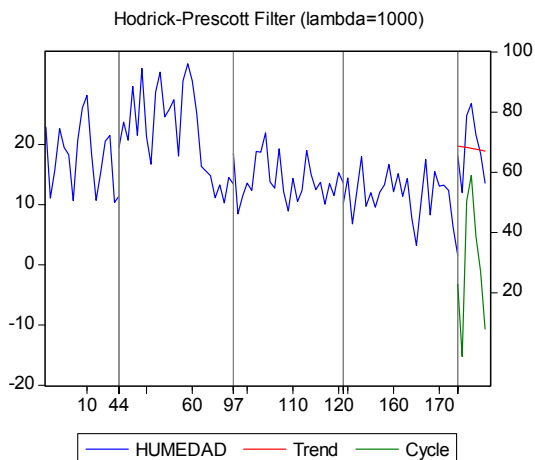
Fuente: Elaboración propia con datos del ARB

Humedad relativa calor



Fuente: Elaboración propia con datos del ARB

Humedad relativa frío



Fuente: Elaboración propia con datos del ARB

Estadísticas descriptivas

	HUMEDAD	HUMEDAD	HUMEDAD calor
Media	58.10	62.16	54.24
Mediana	56.29	58.86	53.36
Máximo	96.14	96.14	84.29
Mínimo	28.71	32.43	28.71
Std. Dev.	12.48	13.23	10.39
Jarque-Bera	18.90	6.77	3.36
Sum	12027.14	6277.71	5749.43
Obs.	207.00	101.00	106.00

Fuente: Elaboración propia con datos del ARB

ANEXO 2: Prueba Chow, Pruebas de raíces unitarias y estacionariedad de los vectores de corrección de errores y Modelos de largo plazo

PRUEBAS, MODELO RESTRINGIDO, MODELOS NO RESTRINGIDOS (FRIO Y CALOR) ASMA								
MODELO	R ²	N	m	K	F _{calculado}	F _{critico}	SCR	HIPÓTESIS
RESTRINGIDO	0.76	190		7			9.79	
FRIO	0.78	98	1	7	-22.58	3.93	5.44	Ho se acepta
CALOR	0.78	92	1	7	10.14	3.93	4.03	Se rechaza Ho

MODELOS DE LARGO PLAZO

ASMA 2004-2007		ASMA FRÍO		ASMA CALOR	
OZONO _(t-1)	-0.0784* (-1.7705)	ASMA _(t-1)	0.5302** (-5.5898)	PM10 _(t-2)	0.0985* (-1.9612)
ASMA _(t-1)	0.5932** (-8.7281)	ASMA _{t-2}	0.2923** (-3.1049)	TENDENCIA	0.0013** (-2.9626)
TEMP _t	0.0790** (-2.5376)	C	0.6981** (-2.5049)	TEMP _t	-0.3085* (-1.9441)
DUMMY	0.3442** (-2.6564)	TD _t	0.0008* (-1.9163)	DUMMY	0.3708** (-3.7557)
ASMA _{t-2}	0.3092** (-4.5714)			ASMA _(t-1)	0.7391** (-13.2729)
OZONO _t	0.0251 -0.5936			C	1.6781** (-2.4367)

MODELOS DE LARGO PLAZO POR GRUPO ETARIO DE 0 A 4 AÑOS POR TEMPORADA DE FRÍO Y CALOR

C	2.16661** (-3.8821)	C		C	4.0617** (-2.546)
ASMA _(t-1)	0.3766** (-5.2771)	ASMA _(t-1)	0.5276** (-6.4531)	ASMA _(t-1)	0.4211** (-4.6214)
ASMA _{t-2}	0.1354* (-1.9663)	OZONO _{t-1}	-0.1131* (-2.0180)	PM10 _t	0.2667** (-2.0176)
PM10 _t	0.2302** (-3.2092)	TD _t	0.0014** (-1.7267)	TD _t	0.0038** (-3.526)
TD _t	0.0027** (-4.0912)	PM10 _t	0.1830** (-3.9491)	TEMP _t	-1.2213** (-3.1734)
TEMP _(t-2)	-0.6688** (-4.6570)				
DUMMY	1.0201** (-5.2771)				

MODELOS DE LARGO PLAZO POR GRUPO ETARIO DE 05 A 14 AÑOS POR TEMPORADA DE FRÍO Y CALOR

C	5.7736** (-5.6022)	TEMP _t	0.3360** (-3.1291)	C	
HUMEDAD _t	-0.5516** (-3.0438)	ASMA _(t-1)	0.1529 (-1.5728)	ASMA _(t-1)	0.5385** (-6.8934)
TEMP _t	-0.7636* (-5.7829)	OZONO _{t-1}	-0.1064* (-1.8355)	PM10 _t	0.1165** (-2.1722)
PM10 _{t-1}	0.2673** (-4.1224)	TD _t	0.0021** (-2.6485)	TD _t	0.00214** (-2.559)
TD _t	0.0031** (-4.8625)	PM10 _{t-1}	0.2009** (-2.8028)	TEMP _t	-1.2213** (-3.1734)
DUMMY	1.0303** (-6.286)	DUMMY	0.7881** (-3.1759)	DUMMY	0.8506** (-4.4759)

MODELOS DE LARGO PLAZO POR GRUPO ETARIO DE 15 A 64 AÑOS POR TEMPORADA DE FRÍO Y CALOR

C	0.4907** (-2.438)	OZONO _{t-1}	-0.0882** (-2.3926)	OZONO _{t-1}	-0.1222** (-2.0529)
ASMA _(t-1)	0.7004** (-2.6554)	PM10 _{t-1}	0.1114** (-2.4246)	ASMA _(t-1)	0.7154** (-12.3247)
OZONO _{t-1}	-0.0651* (-2.2897)	ASMA _(t-1)	0.7279** (-11.48)	PM10 _{t-2}	0.1485** (-3.3124)
PM10 _{t-2}	0.0863** (-2.3643)	DUMMY	0.5191** (-4.0454)	TD _t	0.0010** (-1.8624)
TD _t	0.0009** (-2.6554)	TEMP _{t-1}	0.1767** (-1.721)	DUMMY	0.3292** (-2.5946)
DUMMY	1.0201** (-5.2771)	HUMEDAD	-0.4401** (-3.1218)		
		HUMEDAD _(t-1)	0.3799** (-2.7312)		

MODELOS DE LARGO PLAZO POR GRUPO ETARIO DE 65 AÑOS Y MÁS POR TEMPORADA DE FRÍO Y CALOR

ASMA65 _(t-1)	0.1674** (-2.9875)	C		ASMA65 _(t-2)	0.2439** (-3.2742)
PM10	0.1447* (-1.9541)	ASMA65 _(t-1)	0.1974** (-2.5856)	PM10 _(t-1)	0.1003 (-0.8454)
OZONO	0.0037 (-2.3878)	PM10 _{t-2}	0.2441** (-8.2687)	PM10	0.083 (-0.6621)
TD _t	0.0021** (-2.8597)	TD _t	0.0024** (-3.1186)	OZONO	0.4571** (-2.0552)
DUMMY	1.0659** (-11.26)	DUMMY	1.0792** (-7.0706)	TD _t	0.0021** (-2.1403)
TEMP	-0.1946* (-1.8651)			DUMMY	1.1579** (-9.4665)
HUMEDAD	0.2522** (-2.3878)			TEMP	-0.1631 (-0.7309)
				HUMEDAD _(t-2)	0.4365** (-1.7444)

Notas:

1. C = Constante, TD = Tendencia Determinística () = t-estadística
2. Los asteriscos * y ** indican rechazo de la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5% y del 1%, respectivamente.