

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CONTAMINACION  
ATMOSFERICA SOBRE LA FRECUENCIA POR  
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS EN EL AMM

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS  
AMBIENTALES  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA  
LETICIA LOPEZ ALVAREZ

**INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CONTAMINACION  
ATMOSFERICA SOBRE LA FRECUENCIA POR  
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS EN EL AMM**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS  
AMBIENTALES  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**PRESENTA  
LETICIA LOPEZ ALVAREZ**

**MONTERREY, N. L.**

**MAYO DE 2002**

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA



ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA SOBRE LA  
FRECUENCIA POR ENFERMEDADES RESPIRATORIAS EN EL AMM

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER ELGRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS AMBIENTALES  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA:

LETICIA LOPEZ ALVAREZ

MONTERREY, N.L.

MAYO DE 2002

---

## **Dedicatoria**

Este trabajo va por ti abue, por ser tan fuerte y capaz de salir adelante a pesar de las dificultades, por demostrarme con tu ejemplo, la grandeza que hay dentro de una mujer. Pero sobre todo, por darme la oportunidad de tener una mamá tan profesional y entregada a su familia.

---

---

## Agradecimientos

A Dios por seguirme guiando y consintiéndome tanto en cada etapa de mi vida.

A mis Padres, el Profr. Epifanio y la Profra. Eva por todos sus sacrificios, su apoyo y confianza depositada en mi. Y por darme ese calor de hogar que me da fuerzas para seguir adelante a pesar de la distancia.

A mis hermanos, Isabel, David y Elizabeth, por su cariño y aliento en todo momento. Estoy muy orgullosa de ustedes.

A mi sobrino Diego por iluminar mi vida con su sola presencia.

A la Lic. Gloria García Flores del depto. de Estadística Informática del I.M.S.S. por su disposición y gran apoyo para la realización de este trabajo.

Al Dr. Raúl Ortega Martínez de la U.M.S.N.H., por su paciencia y experiencia, para transmitirme sus conocimientos que contribuyeron enormemente en la realización de mi tesis.

A mi comité de tesis Dr. Gerardo Mejía, Dra. Irma Gómez y el Dr. Gerardo Morales, por la confianza depositada en mi.

A mis amigos de siempre Dany, Vero, Erika, Yuri, Beatriz<sup>+</sup>, Selene<sup>+</sup>, Lenin y Antonio. Por permitirme compartir con ustedes muchos momentos importantes de mi vida. Y a mis amigos de la maestría que compartieron conmigo momentos de angustia y felicidad en mi estancia en Monterrey. Mil gracias.

---

---

# CONTENIDO

## CAPITULO 1 Contaminación del aire en el AMM.

1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL AMM	2
1.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.	3
1.4 SITUACIÓN ACTUAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y DE LA CONTAMINACIÓN EN EL AMM.	4
• Comportamiento del ozono durante el período 1999-2000 en el AMM.	5
• Comportamiento de PM <sub>10</sub> durante el período 1999-2000 en el AMM.	6
1.5 OBJETIVO	7
1.6 HIPÓTESIS	8
1.7 JUSTIFICACIÓN	8
1.8 ALCANCE	9
1.9 CONTENIDO DE ESTE TRABAJO	9

## CAPITULO 2 Generalidades sobre contaminación del aire.

2.1 TIPOS DE CONTAMINANTES EN EL AIRE	10
• Monóxido de Carbono (CO)	11
• Bióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	12
• Ozono (O <sub>3</sub> )	13
• Oxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	15
• Partículas	16
2.2. EFECTOS EN SALUD.	
2.2.1 Ozono.	18
• Toxicocinética	19
• Toxicodinámica	19
• Efectos extrapulmonares del O <sub>3</sub>	20

---

---

---

• Efectos fisiológicos, agudos y crónicos.	20
2.2.2 Partículas.	
• Toxicocinética	22
• Toxicodinámica	23
• Efectos fisiológicos, agudos o crónicos.	23
2.3 UNIDADES DE MEDIDA PARA LOS CONTAMINANTES	22
I.M.E.C.A.	24
2.4 MONITOREO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	26
2.4.1 Red automática de monitoreo ambiental en el AMM	26
2.4.2 Ubicación de las estaciones de monitoreo ambiental.	27
• Estación Sureste	28
• Estación Noreste	28
• Estación Centro	29
• Estación Noroeste	29
• Estación Suroeste	29
 <b>CAPITULO 3 Calidad del aire y sus efectos en salud de los habitantes AMM.</b>	
3.1 CONTAMINACIÓN DE O <sub>3</sub> Y PM <sub>10</sub> EN EL AMM.	30
• Concentración promedio mensual de ozono	31
• Concentración promedio mensual de PM10	33
3.2 CONDICIONES METEREOLÓGICAS.	34
• Humedad	35
• Temperatura	35
3.3 DATOS EPIDEMIOLÓGICOS DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS: INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS Y NEUMONÍA.	
• Análisis de periodos de contaminación elevada para PM <sub>10</sub>	45
• Análisis de periodos de contaminación elevada para O <sub>3</sub>	45

---

---

---

## **CAPITULO 4 Análisis estadístico de la calidad del aire y sus efectos en salud de los habitantes AMM**

4.1	DEFINICION Y APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN EL AMM.	53
4.2	DEFINICION Y APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO A EL AMM.	54
4.2.1	Variables analizadas para el AMM.	55
4.3	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COVARIANZA PARA EL AMM.	57
4.3.1	Promedios generales de consultas otorgadas y contaminantes en el AMM.	58
4.4	EFFECTO DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES SOBRE LAS CONSULTAS OTORGADAS	59
	• Efecto del año	59
	• Efecto de época, de hospital, y de grupo de edad dentro de la época.	59
	• Efecto de la época del año	60
	• Efecto del hospital.	63
	• Efecto del grupo de edad dentro de época.	65
4.4.1	Efectos de las PM <sub>10</sub> dentro del grupo de edad	74

## **CAPITULO 5 Análisis Económico**

5.1	METODOLOGÍA EMPLEADA PARA ESTIMAR EL BENEFICIO ECONÓMICO ASOCIADO POR LOS NIVELES DE DISMINUCIÓN EN LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN .	77
5.1.1	Consultas otorgadas debidas a infecciones respiratorias agudas	78
5.1.2	Estimación de costos por consultas disminuidas.	79

	<b>CAPITULO 6 Conclusiones y recomendaciones.</b>	<b>81</b>
--	---	-----------

---

---



---

## Anexos

### Anexo 1

Tabla A1. Registro de concentraciones en puntos IMECA para ozono y partículas 1999. 84

Tabla A1. Registro de concentraciones en puntos IMECA para ozono y partículas 2000. 85

### Anexo 2

B.1 Análisis de covarianza 88

B.2 Correlación lineal simple 90

### Anexo 3

Distribución de observaciones para el estudio. 96

---

---

---

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Municipios que conforman el Area Metropolitana de Monterrey.	3
<b>Figura 1.2</b>	Indice endémico de Infecciones Respiratorias Agudas 1999-2000.	4
<b>Figura 1.3</b>	Indice endémico de Neumonía. 1999-2000.	5
<b>Figura 1.4</b>	Promedio mensual de los máximos diarios de ozono.	6
<b>Figura 1.5</b>	Promedio mensual de los máximos diarios de partículas.	6
<b>Figura 1.6</b>	Ubicación de las estaciones de monitoreo del SIMA.	28
<b>Figura 3.1</b>	Promedio mensual de los máximos diarios de ozono, para cada una de las 5 estaciones de monitoreo del AMM (1999).	31
<b>Figura 3.2</b>	Promedio mensual de los máximos diarios de ozono, para cada una de las 5 estaciones de monitoreo del AMM (2000). Promedio mensual de los máximos diarios de ozono, para cada una de las 5 estaciones de monitoreo del AMM (2000).	32
<b>Figura 3.3</b>	Promedio mensual de los máximos diarios de PM <sub>10</sub> , para cada una de las 5 estaciones de monitoreo del AMM (1999).	33
<b>Figura 3.4</b>	Promedio mensual de los máximos diarios de PM <sub>10</sub> , para cada una de las 5 estaciones de monitoreo del AMM (2000).	34
<b>Figura 3.5</b>	Promedio mensual de la temperatura y humedad (1999).	36
<b>Figura 3.6</b>	Promedio mensual de la temperatura y humedad (2000).	36
<b>Figura 3.7</b>	Localización de las Clínicas y Hospitales del IMSS en el AMM	40
<b>Figura 3.8</b>	Comparativo de los niveles de contaminación por PM <sub>10</sub> con las enfermedades Respiratorias.	45
<b>Figura 3.9</b>	Correlación de enfermedades respiratorias agudas con niveles de concentración de PM <sub>10</sub> para primero, segundo y tercer período.	46
<b>Figura 3.10</b>	Comparativo de los niveles de contaminación de ozono con enfermedades Respiratorias en el AMM.	48
<b>Figura 3.11</b>	Correlación de enfermedades respiratorias agudas con niveles de concentración de ozono para primero, segundo y tercer período.	49
<b>Figura 4.1</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente BR (Bronquitis y bronquiolitis aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.	65
<b>Figura 4.2</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente BR	

---

---

---

	(Bronquitis y bronquiolitis aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.	65
<b>Figura 4.3</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente FA (Faringitis, Amigdalitis y Laringitis) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.	66
<b>Figura 4.4</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente FA (Faringitis, Amigdalitis y Laringitis) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.	67
<b>Figura 4.5</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente IRS (Infecciones Agudas Respiratorias de Localización Múltiple) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.	67
<b>Figura 4.6</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente IRS (Infecciones Agudas Respiratorias de Localización Múltiple) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.	68
<b>Figura 4.7</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente R (Rinofaringitis Aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.	68
<b>Figura 4.8</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente R (Rinofaringitis Aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.	69
<b>Figura 4.9</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente S (Sinusitis Aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.	69
<b>Figura 4.10</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente S (Sinusitis Aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.	70
<b>Figura 4.11</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente N (Neumonía) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.	70
<b>Figura 4.12</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para la variable dependiente N (Neumonía) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.	71

---

---

---

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b>	Número (y porcentaje) de días con puntos IMECA superiores a 100 y 150 en el AMM (Enero de 1999 a Diciembre del 2000).	7
<b>Tabla 2.1</b>	Fuentes de contaminación del aire.	11
<b>Tabla 2.2</b>	Deterioro de funcionamiento pulmonar a diferentes exposiciones.	21
<b>Tabla 2.3</b>	Descripción de los efectos en salud del índice metropolitano de calidad del aire.	24
<b>Tabla 2.4</b>	Concentraciones que equivalen a 100 puntos IMECA.	25
<b>Tabla 2.5</b>	Puntos de quiebre del IMECA.	25
<b>Tabla 3.1</b>	Hospitales y clínicas del IMSS correspondientes a cada unidad de monitoreo.	41
<b>Tabla 3.2</b>	Porcentaje de consultas otorgadas por infecciones respiratorias agudas y neumonía, por unidad médica en el año 1999.	43
<b>Tabla 3.3</b>	Porcentaje de consultas otorgadas por infecciones respiratorias agudas y neumonía, por unidad médica en el año 2000.	44
<b>Tabla 4.1</b>	Definición de variables independientes (Xi).	56
<b>Tabla 4.2</b>	Definición de variables independientes (Yi).	57
<b>Tabla 4.3</b>	Promedios para las variables en estudio.	58
<b>Tabla 4.4</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables en estudio.	62
<b>Tabla 4.5</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para las variables dependientes por efectos de épocas.	62
<b>Tabla 4.6</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para las variables dependientes de acuerdo al hospital.	64
<b>Tabla 4.7</b>	Medias de mínimos cuadrados (e.e.) para las variables dependientes de acuerdo al grupo dentro de época.	72
<b>Tabla 4.8</b>	Modelos reducidos de regresión parcial por efectos de PM <sub>10</sub> dentro de grupo, sobre las variables dependientes.	76

---

---

---

---

## RESUMEN

El término "contaminación atmosférica" se comenzó a utilizar en forma frecuente en la década de los setenta por los habitantes de las grandes ciudades, ya que para entonces se hizo evidente el deterioro de la calidad del aire, como consecuencia de las actividades productivas concentradas en dichas urbes, del número creciente de vehículos en circulación, de las emanaciones e incineración de toneladas de basura, del uso de sustancias químicas y, en gran medida de los procesos de producción de energía eléctrica que requieren estas ciudades para su funcionamiento.

Solamente en el Area Metropolitana de Monterrey (AMM) se emiten anualmente a la atmósfera alrededor de 1,932,622 toneladas de contaminantes [INE, 1995], lo cual representa, a su vez, la generación de un gran número de problemas, que van desde el aumento de enfermedades, principalmente respiratorias (sobre todo crónico-degenerativas e incapacitantes que generan alteraciones en la calidad de vida), hasta el gasto de sumas millonarias para la investigación en tecnologías y estrategias capaces de disminuir en alguna medida la producción y/o la emisión de estas sustancias contaminantes.

Las implicaciones de tipo económicas únicamente desde el punto de vista salud, son muy altas. En México, no existen muchos estudios al respecto, pero en otros países al realizar estudios epidemiológicos, han mostrado que aunque el costo del control de la contaminación es muy alto, más alto es el costo por medicamentos, hospitalización, tratamiento y horas hombre perdidas que ocasiona.

El objetivo de este trabajo es determinar la relación entre la contaminación del aire por partículas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ) y Ozono ( $O_3$ ), y las visitas a hospitales en el AMM, con el fin de estimar los beneficios en salud que se obtendrían al reducir la contaminación. Para ello se recopiló información que comprende los años 1999 y 2000 de calidad del aire de la red de monitoreo de la Subsecretaría de Ecología del Estado de Nuevo León, así como de las consultas que fueron otorgadas por infecciones respiratorias y neumonía en el Instituto Mexicano del Seguro Social, delegación Nuevo León para ese mismo periodo. Se correlacionó la información mediante un análisis estadístico, para determinar si dichos contaminantes tienen efecto sobre la incidencia en las enfermedades,

---

---

---

---

además de que se determinaron y cuantificaron los efectos de otras variables independientes sobre las enfermedades, para ello se realizó un análisis de covarianza y regresión lineal.

Los resultados mostraron que las partículas ( $PM_{10}$ ) se correlacionan con las enfermedades estudiadas, mientras que el ozono es independiente. Siendo las épocas frías en donde la incidencia en las mismas es mayor en comparación con las épocas cálidas del año. Los grupos que resultan mayormente afectados son los niños menores de 9 años, los mayores de 65 años y eventualmente un grupo intermedio de 25-44 años. En cuanto a los hospitales en donde se otorga el mayor número de consultas en el AMM, hay una gran variabilidad, es decir, no se aprecian claramente los efectos en salud con alta y baja contaminación.

---

---

# CAPITULO 1

## CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL AMM

Desde la década de los años cuarenta el desarrollo industrial en el estado de Nuevo León trajo consigo la concentración de la actividad económica en Monterrey. El periodo de mayor crecimiento de este sector se dió en los años sesenta, debido entre otros factores, al despliegue de estrategias internas de fomento industrial, tales como precios bajos de energéticos, bienes y de servicios básicos (agua, transporte y manejo de basura). La política de tarifas eléctricas contribuyó a diseños de alto consumo, mientras que los precios bajos de las gasolinas facilitaron el crecimiento acelerado del parque vehicular sin imponer restricciones en cuanto a su rendimiento por viajero, [INE, 1995]. Aunado a ello, el proceso de urbanización propició la extensión del área metropolitana que alberga en la actualidad una población de poco más de tres millones de habitantes, aproximadamente el 83% del total del estado de Nuevo León, [INEGI, 1995]. Estas circunstancias han provocado un deterioro gradual en la calidad del aire lo que representa un problema de salud ambiental [OMS, 1999] ya que afecta la salud de los habitantes ocasionando enfermedades sobre todo crónico-degenerativas e incapacitantes, las cuales generan alteraciones en la calidad de vida y representan costos que no se limitan a un solo sector, sino que actúan de manera diferencial a los grupos que conforman la sociedad y prácticamente a la totalidad de los aspectos de la vida económica y social.

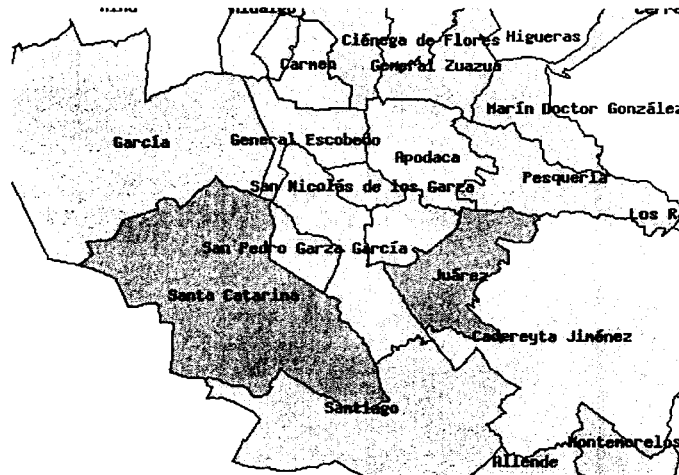
Los contaminantes atmosféricos que se encuentran en mayor cantidad en AMM son: óxidos de carbono, de nitrógeno y de azufre, compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión y oxidantes fotoquímicos, [INE, 1995]. Debido a su importancia se diseñaron diversas acciones para controlarlos. Es por ello, que el gobierno del estado elaboró el Programa de Administración de la Calidad del Aire del Area Metropolitana de Monterrey 1997-2000 con la ayuda de un grupo multisectorial de trabajo –la Comisión Metropolitana para el Mejoramiento de la calidad del Aire– quienes evaluarán periódicamente el avance en la ejecución de las acciones del mismo con lo que se asegurará su oportuno seguimiento para controlar la contaminación del aire en el AMM. Este programa pretende asegurar la equidad de los costos y los beneficios entre la población, y los costos y beneficios ambientales.

---

El interés al desarrollar el presente trabajo no es simplemente recopilar datos, sino proporcionar información de costo-beneficio (costos de la reducción de la contaminación contra los beneficios producidos que se reflejan en un menor uso de centros hospitalarios y medicamentos), ya que los costos en cuanto a la degradación de la calidad del aire son siempre asimilados por toda la sociedad, sin importar el estatus social o la condición económica.

## 1.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AMM

El estudio se realiza en el Area Metropolitana de Monterrey, que comprende a los municipios de Monterrey, San Pedro Garza García, San Nicolás de los Garza, Santa Catarina, General Escobedo, Guadalupe y Apodaca (Figura 1.1), la cual se sitúa entre las coordenadas geográficas extremas al norte 27° 49', al sur 23°11' de latitud norte; al oeste 101°14' de longitud oeste, a una altura aproximada de 530 m.s.n.m. [INEGI, 2000] cuya climatología es seca y semiseca extrema [INEGI, 2001].



**Figura 1.1** Municipios que conforman el Area Metropolitana de Monterrey.

El AMM está rodeada por la Sierra Madre Oriental, el Cerro de la Silla, el Cerro de las Mitras y el Cerro del Topo Chico. Estas elevaciones montañosas constituyen una barrera física natural para la circulación del viento e impiden el desalojo del aire contaminado hacia el exterior de la zona.

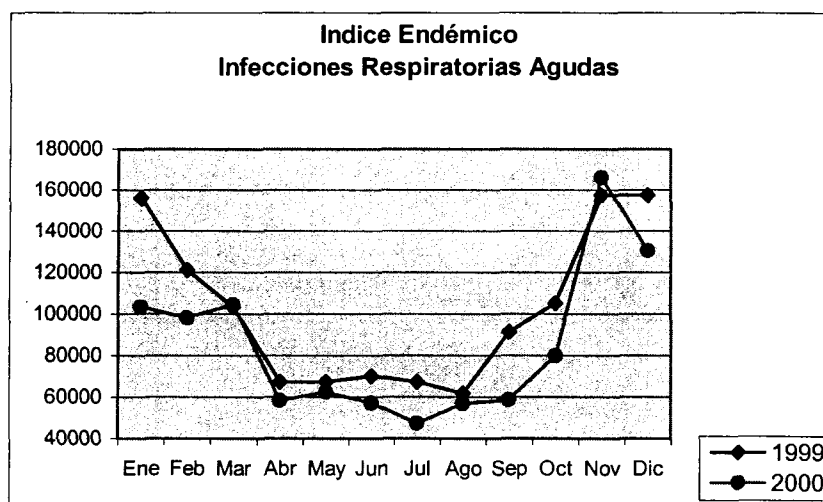


---

## 1.2 SITUACION ACTUAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y DE LA CONTAMINACIÓN EN EL AMM.

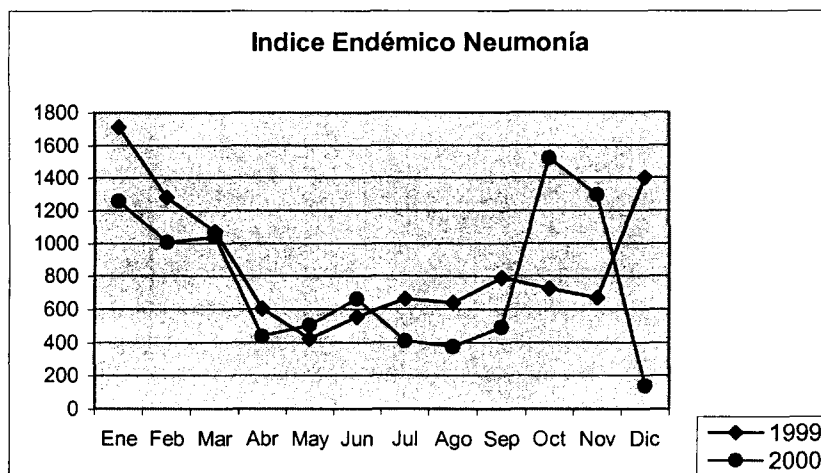
Aunque algunos de los síntomas de la contaminación que sufre la gente atañen a las mucosas de nariz, garganta y ojos, el sitio de mayor impacto está en los pulmones. Es por ello que los efectos de la contaminación son vinculados con quienes padecen enfermedades pulmonares y cardiacas crónicas.

Cada año, las enfermedades respiratorias agudas van en aumento en los países en desarrollo. En el estado de Nuevo León, los índices endémicos reportados en el año 1999 y 2000 para las infecciones respiratorias agudas y neumonía, se aprecian en las Figuras 1.2 y 1.3. Estos muestran que las infecciones respiratorias agudas disminuyen entre los meses de marzo a octubre, mientras que los casos de neumonía disminuyen en el período de marzo a septiembre generalmente.



**Figura 1.2** Índice Endémico de Infecciones Respiratorias Agudas. Fuente: Instituto Mexicano del Seguro Social, Departamento de Informática y Estadística Médica. 1999-2000.

En el año 2000 en general, hubo una ligera baja en la incidencia de enfermedades respiratorias con respecto al año anterior. Los casos de neumonía por su parte, sólo aumentaron en los meses de mayo, junio, octubre y noviembre del año 2000 en relación a 1999.



**Figura 1.3** Índice Endémico de Neumonía. Fuente: Instituto Mexicano del Seguro Social, Departamento de Informática y Estadística Médica. 1999-2000.

El comportamiento en la aparición de las enfermedades anteriormente expuestas, puede ser consecuencia de uno o varios factores como por ejemplo: la contaminación presente en la atmósfera, condiciones climatológicas, tabaquismo, etc. Sin embargo, hasta el momento no se ha realizado algún estudio para el Area Metropolitana de Monterrey, en el que se explique el grado de correlación entre las enfermedades respiratorias y dichos factores.

A continuación se presenta el comportamiento en el AMM del ozono y partículas menores a 10 micras, ya que estos son considerados de los contaminantes más perjudiciales para el ser humano, con el objeto de buscar alguna posible asociación con las enfermedades.

- **Comportamiento del ozono durante el período 1999-2000 en el AMM.**

La Figura 1.4 presenta la concentración promedio mensual de los máximos diarios de ozono del período 1999-2000 en el AMM. Como puede apreciarse son valores promedio mensual por lo que es de esperarse que en las horas pico haya alcanzado valores por encima de la norma mexicana, la cual es de 0.11 ppm a una exposición de 1 hora, con una frecuencia máxima aceptable de una vez cada tres años. Puede observarse también que los promedios mensuales de ozono en el año 1999 fueron superiores que los registrados en el 2000. El valor diario más alto que se registró fue de 0.04 ppm (38 puntos IMECA) en el mes de septiembre de 1999. Mientras que para el 2000 este valor fue de 0.14 ppm (125 puntos IMECA) registrado en el mes de noviembre de ese año.

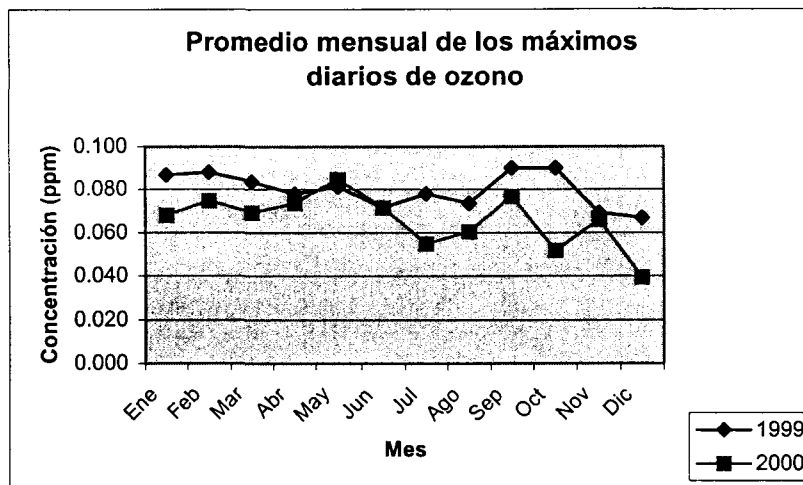


Figura 1.4. Promedio mensual de los máximos diarios de ozono. Fuente: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental, 2001. Subsecretaría de Ecología el gobierno del Estado de Nuevo León. Dirección General de Gestión e Información Ambiental.

- **Comportamiento de PM<sub>10</sub> durante el período 1999-2000 en el AMM.**

El comportamiento de PM<sub>10</sub> se muestra en la Figura 1.5. Desde el punto de vista anual a diferencia del ozono, las PM<sub>10</sub> registraron promedios mayores en el año 2000. El valor máximo alcanzado que se registró durante un día fue en el mes de marzo de 1999 con 284 µg/m<sup>3</sup> (167 puntos IMECA), mientras que para el 2000 este fue de 201 µg/m<sup>3</sup> (132 puntos IMECA) en el mes de mayo, cabe recordar que la norma establece una concentración de 150 µg/m<sup>3</sup> con un tiempo de exposición de 24 hrs. y una frecuencia máxima aceptable de vez al año.

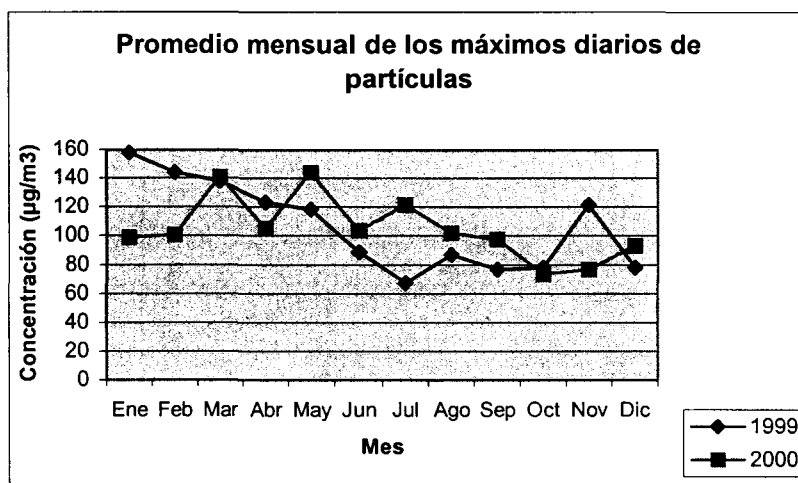


Figura 1.5. Promedio mensual de los máximos diarios de partículas. Fuente: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental, 2001. Subsecretaría de Ecología el gobierno del Estado de Nuevo León. Dirección General de Gestión e Información Ambiental.

---

Considerando que el punto de quiebre en los 100 puntos para los IMECA es el valor correspondiente de la norma de calidad del aire para el contaminante en específico, resulta evidente que el AMM tiene un porcentaje muy alto de días de excedencia sobre las normas (Tabla 1.1).

**Tabla 1.1.** Número (y porcentaje) de días con puntos IMECA superiores a 100 y 150 en del AMM (enero de 1999 a diciembre del 2000).

	Ozono		PM <sub>10</sub>	
	1999	2000	1999	2000
>100	7 (2%)	10(3%)	77(21%)	31(8%)
>150	0	0	8(2%)	0
<b>Total</b>	7(2%)	10(3%)	85(23%)	31(8%)

Fuente: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental, 2001. Subsecretaría de Ecología el gobierno del Estado de Nuevo León. Dirección General de Gestión e Información Ambiental.

Los datos de monitoreo indican que las PM<sub>10</sub> han rebasado en 116 días (en el período1999-2000) los límites de la norma NOM-025-SSA1-1993 [NOM, 1994a] que es de 150µg/m<sup>3</sup> durante 24 horas de exposición. Este contaminante es el que más violaciones a la norma ha presentado, por lo que se sitúa como el contaminante más crítico en términos de calidad del aire en el AMM. Por su parte el ozono superó a la norma NOM-025-SSA1-1993 [NOM, 1994b] (11.0 ppm en una exposición de una hora) en 17 días, lo que lo coloca como el segundo contaminante en problemática en el AMM [SIMA, 1999]. Lo anterior marca la importancia de realizar estudios que evalúen las repercusiones de las violaciones a la norma en salud desde el punto de vista de exposición crónica.

### 1.3 OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo es determinar la relación entre la contaminación y las visitas a hospitales en el AMM, con el fin de estimar los beneficios en salud que se obtendrían al reducir la contaminación.

Los objetivos específicos son:

- Analizar la relación entre el número de consultas otorgadas por infecciones respiratorias agudas y neumonías en clínicas y hospitales del Instituto Mexicano del Seguro Social y los niveles de contaminación de ozono y partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>), en el AMM durante los años 1999 y 2000.

- 
- 
- Estimar los beneficios económicos asociados con las mejoras en salud que se lograrían como consecuencia en la reducción de los niveles de contaminación.

#### 1.4 HIPOTESIS

Bajo el razonamiento de que la población adscrita a una clínica u hospital esta determinada por la proximidad geográfica a su domicilio, se supone que dichos pacientes están expuestos a concentraciones de contaminantes atmosféricos muy similares por tener un sitio de residencia cercano. De acuerdo a la ubicación de cada clínica u hospital es posible relacionarlo con alguna de las estaciones de monitoreo del SIMA. Con ello es posible estimar la concentración del contaminante a la que estaba expuesto el paciente que demandaba atención médica y de aquí relacionar niveles de concentración con visitas a hospitales por exposición crónica o aguda.

#### 1.5 JUSTIFICACIÓN

Aún cuando existe evidencia de que hay una asociación positiva entre la contaminación atmosférica y la salud [Allred, *et. al.*, 1989; Hernández, *et. al.*, 2000; Arribas, *et. al.*, 2001] los esfuerzos por tratar de estimar los costos en salud que la contaminación impone sobre los habitantes del AMM han sido escasos. Por lo anterior, es de vital importancia llevar a cabo una cuantificación de los costos por atención médica, con el fin de proveer a los encargados de las políticas ambientales de información necesaria para evaluar los beneficios en salud al reducir los niveles de contaminación, complementando así las decisiones tomadas para mejorar la calidad del aire, que muchas veces se basan únicamente en el monitoreo de los contaminantes. Estas mediciones por sí solas pueden ser insuficientes para definir cabalmente la exposición de la población.

#### 1.6 ALCANCE

En este trabajo nos centraremos básicamente en la relación de las consultas otorgadas en el AMM por infecciones respiratorias agudas (IRA) y neumonía<sup>a</sup>, con dos de los contaminantes más

---

<sup>a</sup> Se tomó como referencia estudios epidemiológicos previos, hechos en México [Castillejos, *et al*, 1992] y otros países [Bascom, *et al*, 1996] que han analizado la contaminación del aire y han encontrado asociaciones entre los efectos agudos de la enfermedad respiratoria en la población general y la exposición a contaminantes atmosféricos.

---

---

importantes: ozono y  $PM_{10}$ . Debido a la dificultad para obtener la información de las instituciones de salud, el estudio se limita a los datos proporcionados por el Instituto Mexicano del Seguro Social, que comprenden los años de 1999 y 2000. Las clínicas y hospitales del IMSS ubicados en el AMM que no presentaron alguna cercanía geográfica con alguna estación de la red de monitoreo ambiental del SIMA fueron descartados.

## 1.7 CONTENIDO DE ESTE TRABAJO

El estudio se divide en dos partes. En la primera, se relacionará estadísticamente los niveles de los contaminantes con las consultas, lo que permitirá inferir la reducción o aumento que se logra al variar los niveles de contaminantes. En la segunda parte se estimarán los costos por servicios médicos directos (tanto de prevención como de tratamiento) utilizando los resultados obtenidos en la parte anterior, estos costos corresponderían a las consultas evitadas por disminución de la contaminación. El estudio se organiza de la siguiente manera: en el Capítulo 2 se presentan aspectos teóricos fundamentales referentes a los contaminantes, sus fuentes y efectos nocivos en la salud humana (haciendo énfasis en ozono y  $PM_{10}$ ). Posteriormente el Capítulo 3, presenta un resumen de los datos tanto de la calidad del aire como de las enfermedades respiratorias, sus tendencias y fuentes, necesarios para el análisis. El Capítulo 4, contiene el modelo matemático que se empleó para efectuar el análisis estadístico, los resultados obtenidos y la discusión de los mismos. Mientras que la estimación del ahorro que se obtendría por disminución en el número de consultas se expone en el Capítulo 5. Finalmente las conclusiones y recomendaciones para este trabajo están contenidas en el Capítulo 6.

---

---

## CAPITULO 2

### GENERALIDADES SOBRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

La atmósfera tiene como función crear una dinámica de transporte en toda la corteza terrestre, transportando energía y vapor de agua entre otros, de un lado a otro de la corteza. Entre las sustancias que transportan tenemos los contaminantes. Se puede definir a un contaminante del aire como la presencia en la atmósfera exterior de una o más sustancias o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas o de la propiedad que interfiere el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades [Wark,1999].

La contaminación del aire es un fenómeno que se presenta en las grandes ciudades debido a diversas actividades, entre las que destacan: la generación de energía eléctrica; la producción de bienes y servicios en la industria; el uso de combustibles y disolventes; así como el intenso flujo vehicular. Además de los procesos industriales y vehículos automotores existen condiciones naturales que también aportan parte de la contaminación [Lascasaña, 1999].

En este Capítulo se tratan los aspectos teóricos fundamentales referentes a los contaminantes que son introducidos a la atmósfera en mayor proporción, sus fuentes y efectos nocivos en la salud humana.

#### 2.1 TIPOS DE CONTAMINANTES EN EL AIRE

Los contaminantes del aire se pueden clasificar como primarios, que son aquellos que salen de las fuentes y se dispersan en la atmósfera sin sufrir cambios y los secundarios, que son aquellos que en contacto con la humedad del ambiente o la presencia de otras sustancias reaccionan para producir compuestos más agresivos [Seinfeld, 1998].

Los contaminantes atmosféricos considerados a escala internacional son: bióxido de azufre, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales, partículas menores a 10 micras, el ozono y

óxidos de nitrógeno. Estos son conocidos como *contaminantes criterio*, para los cuales existen estándares secundarios de calidad del aire, cuya finalidad es proteger la salud humana, los ecosistemas en todo su contexto, la flora y la fauna, así como los bienes materiales. Estos estándares de calidad del aire se generan a partir de los criterios de calidad del aire, los cuales son documentos que contienen la información más actualizada de cada uno de los contaminantes en lo relativo a sus características físicas y químicas, metodología de análisis, efectos tanto en salud humana como en la flora, fauna, etc. [Soler, 1997].

Las fuentes de origen natural que influyen en la contaminación del aire son: la actividad volcánica, la polinización, incendios, tormentas de agua, de polvo y de arena. Las de origen antropogénico tienen en general la característica de ser diferentes compuestos y elementos a los de origen natural. La Tabla 2.1 muestra algunos de los principales contaminantes y sus fuentes.

**Tabla 2.1.** Fuentes de contaminantes del aire.

<b>Sustancia*</b>	<b>Aire Limpio</b>	<b>Aire Contaminado</b>	<b>Fuente</b>
SO <sub>2</sub>	0.0002	0.2	Combustibles orgánicos: calderas, automóviles, térmicas, minería e industria del azufre.
CO <sub>2</sub>	320	400	Combustibles orgánicos, respiración
CO	0.1	40-70	Combustión incompleta
CH <sub>4</sub>	1.5	2.5	Descombustión orgánica
Hidrocarburos			Combustión, evaporación petróleo y derivados
N <sub>2</sub> O	0.25		Combustión, abonos, ciclo del nitrógeno, volcanes
NO <sub>x</sub>	0.001	0.2	Combustión, abonos, ciclo del nitrógeno, volcanes
NH <sub>3</sub>	0.01	0.02	Descomposición de excrementos, industria
O <sub>3</sub>	0.01	0.02	Reacciones fotoquímicas, descargas eléctricas

\*Otros contaminantes son: sulfuros, (industria del petróleo y del papel, putrefacción), mercurio (minería, evaporación), fluoruros (industria cerámica y metálica).

### **Monóxido de Carbono (CO)**

El monóxido de carbono (CO), es un gas inodoro e incoloro. Es muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses. Las emisiones globales del monóxido de carbono son grandes (350 millones de toneladas/año en 1986) de las que aproximadamente 20 % es obra del hombre.



- 
- 
- *Fuentes Antropogénicas:* Se produce principalmente por la combustión incompleta<sup>b</sup> de compuestos de carbono, consecuentemente pueden verterlo al aire la industria y los escapes de los vehículos automotores. Mención especial debe hacerse de la acumulación intramuros por procesos domésticos y el hábito de fumar.
  - *Fuentes Naturales:* Aunque en menor escala, algunos procesos naturales son capaces de emitirlo, tales como los incendios forestales o su emisión de los procesos naturales que se llevan a cabo en los océanos. Por ejemplo, los hongos en el suelo pueden eliminar una porción significativa de la cantidad liberada de CO y se supone, por lo general, que el CO se oxida a CO<sub>2</sub> en la atmósfera, a pesar de que la tasa de conversión es muy lenta. Se tiene evidencia de que el CO es químicamente activo durante la formación del neblumo [Stephen, 1981].

Los efectos en salud del CO son considerables porque se une estrechamente a la hemoglobina y reduce la capacidad sanguínea de transporte de oxígeno. Tiene efectos tóxicos evidentes y en concentraciones mayores pone en peligro la vida de las personas más expuestas. Es por ello que luego de revisar la información científica disponible, la USEPA (Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés) ratificó en 1992, como norma de calidad del aire para monóxido de carbono, un valor de 9 ppm para un promedio móvil de 8 horas. En un individuo promedio este nivel de exposición se traduce en niveles de carboxihemoglobina (COHb) cercanos al 2%. Estudios en laboratorio han demostrado efectos deletéreos (reducción de tiempo en el que se presenta ataque de angina) en sujetos enfermos de arteria coronaria a niveles de COHb de 2% y 2.9% [Allred, 1989]. Estos hallazgos sugieren que convendría revisar el estándar recientemente adoptado en México (11 ppm para 8 horas).

### **Bióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

El bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), es uno de los óxidos dominantes del azufre presente en la atmósfera. Es un gas incoloro, no flamable y no explosivo. A concentraciones mayores de 3.0 ppm, el

---

<sup>b</sup> COMBUSTIÓN INCOMPLETA: Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica en los vehículos automotores, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, bióxido de carbono y vapor de agua. Sin embargo, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas son causa de la formación de productos secundarios, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados, todos ellos contaminantes del aire.[Wark, 1990].

---

---

gas tiene un olor a acre e irritable. Se genera tanto en fuentes naturales, como de la combustión de compuestos ricos en azufre. Es hidrosoluble y al hidrolizarse da lugar a ácidos (el SO<sub>2</sub> se convierte parcialmente a trióxido de azufre o ácido sulfúrico y a sus sales mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera).

Los óxidos de azufre en combinación con las partículas producen los efectos más perjudiciales atribuidos a la contaminación atmosférica del aire. Los efectos de los óxidos de azufre son:

- Forman aerosoles, originando la neblina al reaccionar fotoquímicamente con las partículas, los Nox y los hidrocarburos presentes en la atmósfera.
- Forman gotitas de ácido sulfúrico que dispersan la luz.
- Aceleran la corrosión de metales.
- Alteran el tiempo de secado y la calidad final de las capas de pintura
- Los sulfatos tienen tamaños de 0.2 a 0.9 micras, influyen en la visibilidad y se depositan en a región pulmonar.

El SO<sub>2</sub> se asocia con la humedad de las mucosas conjuntival y respiratoria, en particular la actividad ciliar se ve reducida. Constituye un riesgo en la producción de irritación e inflamación aguda o crónica; suele asociarse también con las partículas suspendidas (PST) y da lugar a un riesgo superior, puesto que su acción es sinérgica [Wark,1998].

Esta combinación, bióxido de azufre/partículas suspendidas totales (SO<sub>2</sub>/PST), en condiciones favorables para su acumulación y permanencia en la atmósfera, ha sido la responsable de episodios poblacionales, así como del incremento de la morbilidad y la mortalidad en enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias [Hernández, *et. al.*, 2000].

### **Ozono (O<sub>3</sub>)**

El ozono (O<sub>3</sub>) es la forma triatómica del oxígeno y es altamente reactivo; es un compuesto secundario formado por reacciones de hidrocarburos con los NOx en presencia de luz solar, lo cual se

---

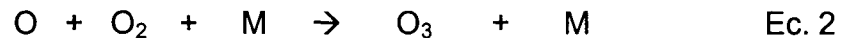
---

lleva a cabo en la troposfera dentro de atmósferas urbanas ya que ambas especies son emitidas por vehículos automotores.

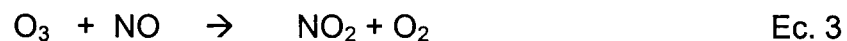
No hay emisiones antropogénicas importantes de O<sub>3</sub> a la atmósfera, ya que éste es un contaminante secundario. Los procesos de producción de ozono, entre los cuales se incluye la absorción de radiación solar por el bióxido de nitrógeno, pueden caracterizarse por las siguientes reacciones:



La Ecuación 1, es una de las reacciones fotoquímicas más importantes en la atmósfera inferior, puesto que produce oxígeno monoatómico (O), altamente reactivo [Seinfeld, 1998]. El oxígeno se combina con el O<sub>2</sub> (en la presencia de un tercer cuerpo) para formar (O<sub>3</sub>) mediante la Ecuación 2.



donde M es un tercer cuerpo capaz de aceptar energía. Luego, el ozono oxida el monóxido de nitrógeno (Ecuación 3). El propio ozono experimenta cambios fotoquímicos de modo que el resultado final es que se crea una capa de ozono por encima de la superficie terrestre, con la mayor concentración (0.03ppm) en la región entre 10 y 20 millas sobre la superficie terrestre [Seinfeld, 1998]. El NO<sub>2</sub> inicial para la Ecuación 1, se forma por la reacción que se presenta en la Ecuación 4.



Ahora bien, debido a la turbulencia y la difusión en la atmósfera, algunas de las sustancias liberadas por las fuentes originadas por el hombre se exponen a las condiciones de la estratosfera, [Wark,1998]. Cualesquiera óxidos de nitrógeno arrastrados hasta dicha región, o formados allí mismo regresarán probablemente a la tierra como ácido nítrico como resultado de la oxidación en la capa de ozono.

---

---

A temprana hora del día, las concentraciones de NO y NO<sub>2</sub> permanecen relativamente bajas. Conforme aumenta la actividad urbana, las concentraciones de los contaminantes primarios, NO y CO, crecen rápidamente. Después, con la influencia de la luz del sol, se registra un aumento de O<sub>3</sub> a la vez que su precursor, el NO disminuye [Seinfeld, 1998].

- *Fuentes antropogénicas de precursores de ozono:* El bióxido de nitrógeno es el precursor más importante del ozono. Entre las fuentes de emisión, intramuros, se encuentran el consumo de tabaco, la utilización de aparatos operados con gas y las estufas de petróleo (queroseno).
- *Fuentes naturales:* El ozono es un compuesto que en forma natural se encuentra presente tanto a nivel de suelo (tropósfera) como en las capas superiores de la atmósfera (estratósfera). En la estratosfera, el ozono cumple una función vital para la protección de la vida en la tierra, ya que absorbe gran parte de la radiación ultravioleta emitida por el sol, impidiendo su paso a la superficie terrestre. En la troposfera, el ozono se forma de manera natural, pero a concentraciones altas causa efectos dañinos [Wark, 1998].

A concentraciones de 0.1 ppm, produce resequedad de la garganta, irritación del tracto y mucosa respiratoria, aumentando la susceptibilidad a infecciones bacterianas. Los efectos en salud son explicados más ampliamente en la sección efectos en salud, por ser uno de los contaminantes bajo estudio.

### **Oxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

De los seis o siete óxidos de nitrógeno, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son importantes contaminantes primarios del aire y precursores de la formación del ozono. Ni el NO ni el NO<sub>2</sub> causan daños directos a los materiales; sin embargo, el NO<sub>2</sub> puede reaccionar con la humedad presente en la atmósfera para formar ácido nítrico que puede ser causa de considerable corrosión de las superficies metálicas, como se mencionó anteriormente. Este compuesto también tiene la característica de absorber la luz visible y a una concentración de 0.25 ppm causa una apreciable reducción de la visibilidad [De Nevers, 1998].

- 
- *Fuentes antropogénicas:* Los  $\text{NO}_x$  que se forman durante la combustión son el producto de la oxidación de nitrógeno atmosférico, o bien de la oxidación del nitrógeno orgánico del combustible. En el primer caso, la producción de  $\text{NO}_x$  se favorece a medida que aumenta la temperatura. Bajo condiciones ricas (de alta proporción de combustible respecto al aire), disminuyen los niveles de  $\text{O}_2$  y la temperatura, por lo que la producción de  $\text{NO}_x$  también es baja. A medida que aumenta la relación aire-combustible, la temperatura aumenta y la producción de  $\text{NO}_x$  se incrementa hasta un máximo, a partir del cual tiende a reducirse la temperatura de la flama debido a la dilución con el exceso de aire y, por lo tanto, los niveles de  $\text{NO}_x$  disminuyen progresivamente [Seinfeld, 1998].
  - *Fuentes naturales:* El  $\text{N}_2\text{O}$  está por lo general presente en la baja atmósfera (formado por acción biológica en la superficie del terreno).

Algunos de los efectos del  $\text{NO}_2$  en salud, son que a concentraciones de 0.5ppm ocasiona reacciones irritables funcionales y produce ciertos cambios morfológicos del árbol respiratorio, con contricción bronquial y disminución de la capacidad de ventilación respiratoria [Gutiérrez, 1997] .

### **Partículas**

Partícula es un término que se emplea para describir las materias sólidas y líquidas, dispersas y arrastradas por el aire, mayores que las moléculas individuales (las moléculas miden aproximadamente  $0.0002 \mu\text{m}$  de diámetro) pero menores de  $500 \mu\text{m}$ . Las partículas en este rango de tamaño tienen una vida media en suspensión que varía desde unos cuantos segundos hasta varios meses. Las partículas menores entre  $0.1$  y  $1 \mu\text{m}$  tienen velocidades de asentamiento en el aire estático que, aunque finitas, son pequeñas comparadas con las velocidades del viento. Las partículas por encima de aproximadamente  $20 \mu\text{m}$  , tienen grandes velocidades de asentamiento y se eliminan del agua por gravedad y otros procesos de inercia [Wark, 1998].

Una porción de las partículas introducidas en la atmósfera por las actividades del hombre sirven como núcleos de condensación que influyen en la formación de nubes, lluvia y nieve. El agua pura, en forma de gotas, es el único líquido que se excluye de esta clasificación [Wark, 1998]..

---

---

Las palabras neblina, humo, emanación y polvo, se usan para indicar orígenes particulados. Las neblinas están compuestas por gotas de líquidos, en suspensión, los humos usualmente consisten en partículas de hollín producidas por combustión, las emanaciones son vapores condensados de sustancias tanto orgánicas como metálicas, y los polvos resultan de la rotura mecánica de la materia sólida [Seinfeld, 1998].

La contaminación del aire por partículas es importante por muchos motivos:

1. Muchas partículas penetran en el sistema respiratorio con mayor efectividad que los contaminantes gaseosos;
  2. Algunas partículas se comportan sinérgicamente y aumentan los efectos tóxicos de otros contaminantes;
  3. La contaminación por partículas aumenta la turbidez atmosférica y reduce la visibilidad; y
  4. En la atmósfera se forman partículas a partir de algunos contaminantes gaseosos.
- *Fuentes antropogénicas y naturales:* La principal fuente es la producción de aerosoles secundarios a partir de contaminantes gaseosos primarios. Su composición varía mucho ya que depende de su origen. Mientras que el tamaño oscila entre 0.0002 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) hasta 5000  $\mu\text{m}$ . Las partículas con un diámetro superior a 10  $\mu\text{m}$  provienen de procesos mecánicos como la erosión, el molido y la dispersión producidos por el viento, así como la pulverización de materias debida a vehículos y peatones [Wark, 1998]. Las partículas entre 1 y 10 $\mu\text{m}$  de diámetro incluyen por lo común suelos locales, polvos de fabricación y productos de combustión de las industrias locales y, en las localidades adecuadas, sal marina. Las de diámetro comprendido entre 0.1 y 1 $\mu\text{m}$  son primariamente productos de combustión y aerosoles fotoquímicos. Mientras que las menores a 0.1  $\mu\text{m}$  de diámetro no ha sido bien identificadas desde el punto de vista químico. Parecen originarse casi por entero a partir de fuentes de combustión [Stephen, 1981].

El tamaño de las partículas es un factor muy importante en la determinación de los efectos de la contaminación por las mismas. Por ejemplo, pueden servir como núcleos de condensación del agua y

---

---

de otros vapores con lo cual se producen micro gotas en las que pueden ser transportados gases higroscópicos, aumentando el efecto agresor de las partículas [Gutiérrez, 1997].

Las partículas menores de 10 micrómetros tienen un efecto indirecto sobre el aparato respiratorio, pues absorben agentes microbiológicos (virus, bacterias, hongos, pólenes, etc.) en su superficie y los transportan al pulmón [Wark, 1998]. En la siguiente sección se comentarán más efectos en salud.

## **2.2. EFECTOS EN SALUD.**

En esta sección se comentan los efectos tóxicos ocasionados por las PM<sub>10</sub> y el ozono. Es importante explicar la toxicodinámica que comprende los mecanismos de acción, que incluyen la correlación de los efectos de las sustancias con su estructura química y la toxicocinética que trata de cuantificar temporalmente todos los procesos como consecuencia de la introducción de agentes tóxicos en el organismo, ya que la mayoría de las sustancias tóxicas presentes en el aire no causan inicialmente efectos nocivos en la salud humana, sino que el período de exposición<sup>c</sup> a los mismos da comienzo a un proceso fisiológico a medida que el cuerpo humano reacciona absorbiendo, distribuyendo, almacenando, transformando y eliminando la sustancia [Toxicología Ambiental, 2001]. Con el fin de producir un efecto tóxico, la sustancia química o el producto de su biotransformación, debe alcanzar un punto crítico de acción en un órgano de destino (zona anatómica preferente), en una concentración lo suficientemente elevada y durante un período de tiempo prolongado para que se lleve a cabo una manifestación de los efectos tóxicos. Estos efectos tóxicos pueden abarcar desde reacciones leves alérgicas hasta la muerte del ser humano.

### **2.2.1 Ozono.**

#### **Toxicocinética**

La única vía importante de exposición al ozono es la respiratoria, y la exposición se puede definir con base en la concentración en la nariz y en la boca. El ozono actúa de modo primordial en el parénquima pulmonar. Las otras etapas típicas de la toxicocinética no son importantes para este

---

<sup>c</sup> Entiéndase como período de exposición, el tiempo en el cual se administra una dosis en seres humanos. Para calificar la exposición en seres humanos se recurre a los siguientes criterios:

---

---

contaminante ambiental. El ingreso de ozono en la sangre a nivel de los capilares pulmonares, todavía es incierto.

Existen diversos factores que pueden influir en el transporte y eliminación del ozono en las vías respiratorias altas, tales como:

- a) morfología nasal
- b) profundidad y tipo de respiración (oral y nasal)
- c) composición bioquímica y la cantidad de las mucosidades [Gutiérrez, 1997].

### **Toxicodinámica**

El órgano blanco<sup>d</sup> del ozono es el aparato respiratorio, en particular el parénquima pulmonar. En general, el ozono actúa de manera principal a través de dos mecanismos:

- 1) la oxidación de grupos sulfhidrilos y enzimas aminoácidas, coenzimas y proteínas y péptidos;
- 2) la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados a preróxidos de ácidos grasos.

Las membranas celulares están compuestas tanto de proteínas como de lípidos y es por esta razón, que aparecen ser un blanco obvio para el ozono. De acuerdo con experimentos en animales, el daño se limita principalmente a la zona de la unión entre los alveolos y las vías de aire que lo transportan. En la región nasofaríngea y traquea bronquial, las células ciliadas son las más sensibles. Una vez terminada la exposición, las células del tipo I y las células no ciliadas son remplazadas por las células proliferativas del tipo II y por las no ciliadas respectivamente. La deficiencia de vitamina E, puede aumentar la vulnerabilidad a los efectos adversos del ozono en el parénquima pulmonar [LaGrega, *et al*, 1996].

### **Efectos extrapulmonares del O<sub>3</sub>**

Numerosos estudios han indicado que la inhalación del O<sub>3</sub> puede producir efectos en los linfocitos, los eritrocitos y en el suero sanguíneo, así como también en diferentes órganos. No se conoce el mecanismo por el cual el O<sub>3</sub> puede causar alteraciones extrapulmonares. Es el objeto de

---

Agudo (Un día), Subagudo (Diez días), Subcrónico (Entre dos semanas y siete años), y Crónico (Más de siete años).



---

---

mucha expeculación, si estos efectos resultan del O<sub>3</sub>, o de sus metabolitos que penetran en la sangre y son transportados a algún otro sitio blanco. Los efectos extrapulmonares incluyen un descenso en la frecuencia cardiaca y en la media de la presión arterial, una alteración del sistema P450 del hígado, y alteraciones en otros órganos como las glándulas paratiroides, tiroides y adrenales. No existe juicio definitivo sobre el potencial carcinogénico del O<sub>3</sub> [Gutiérrez, 1997].

### **Efectos fisiológicos, agudos y crónicos .**

Los efectos más importantes son: aumento en la reactividad de las vías aéreas, aceleración en la salida de las partículas de las vías aéreas centrales y periféricas, aumento de la permeabilidad broncoalveolar, inflamación de las vías aéreas, y reducción en el rendimiento atlético.

Los efectos relacionados con el nivel de oxidantes por hora, comienza casi a los 0.10 ppm e incluye la irritación de ojos, de la nariz, y de la garganta; así como tos, resequedad de la garganta, dolor en el pecho, mayor producción de mucosidades, estertores, opresión en el pecho, dolor retrosternal, agotamiento, malestar y náusea. En varios estudios sobre admisiones hospitalarias causa de síntomas respiratorios, en relación con las concentraciones de ozono, se encontró aumento en el riesgo de ataques de asma y un mayor índice de admisiones hospitalarias por enfermedades del aparato respiratorio con cifras altas de ozono. Se ha informado disminución en el funcionamiento pulmonar en niños y jóvenes. En la Tabla 2.2 se muestra el deterioro del funcionamiento pulmonar a diferentes exposiciones [Gutiérrez, 1997].

Los efectos en funcionamiento pulmonar parecen ser transitorios y algunos autores sugieren una “adaptación” a la exposición crónica que persiste por lo menos unos cuantos meses después de que termina la exposición [LaGrega, 1996].

---

<sup>d</sup> Organó blanco (Target organ): Aquel en el cual un tóxico ejerce su acción de manera preferente dañándolo o alterando su función.

**Tabla 2.2** Deterioro del funcionamiento pulmonar a diferentes exposiciones.

Respuesta	Individuos	Condiciones de la exposición
Disminución promedio del 5 a 10% en el VEF	Hombres jóvenes sanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 18 ppm con ejercicio fuerte intermitente durante 2 horas -O<sub>3</sub> en aire purificado.</li> <li>• 0.10 ppm con ejercicio moderado durante 6.6 horas -O<sub>3</sub> en el aire purificado</li> <li>• 0.10 ppm con ejercicio muy fuerte durante 0.5 hora -O<sub>3</sub> en el aire ambiental</li> </ul>
Aumento de la tos	Hombre jóvenes sanos, Hombres y mujeres jóvenes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.12 ppm con ejercicio fuerte intermitente durante 2 horas -O<sub>3</sub> en aire purificado</li> <li>• 0.08 ppm con ejercicio moderado durante 6.6 horas -O<sub>3</sub> en aire purificado</li> <li>• 0.12 a 0.13 ppm con ejercicio fuerte durante 16 a 28 minutos -O<sub>3</sub> en aire purificado</li> </ul>
Reducción del rendimiento atlético	Hombres jóvenes sanos Hombres y mujeres jóvenes sanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.18 ppm con ejercicio en Vg de 54L/ min durante 30 min, 120 L/min durante 30 min. -O<sub>3</sub> en aire purificado.</li> </ul>
Aumento de la reactividad de las vías respiratorias	Hombres jóvenes sanos Hombres adultos jóvenes con rinitis alérgica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.08 ppm con ejercicio moderado durante 6.6 horas -O<sub>3</sub> en aire purificado</li> <li>• 0.18 ppm con ejercicio fuerte durante 2 horas -O<sub>3</sub> en aire purificado</li> </ul>
Aumento de la permeabilidad de las vías respiratorias	Hombres jóvenes sanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.40 ppm con ejercicio fuerte intermitente durante 2 horas -O<sub>3</sub> en aire purificado.</li> </ul>
Aumento de la inflamación de las vías respiratorias	Hombres jóvenes sanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.08 ppm con ejercicio moderado durante 6.6 horas -O<sub>3</sub> en aire purificado.</li> </ul>
Aumento de la remoción de las partículas traqueobronquiales	Hombres jóvenes sanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.20 ppm con ejercicio ligero intermitente durante 2 horas -O<sub>3</sub> en aire purificado.</li> </ul>

El efecto que la exposición a concentraciones altas de ozono tiene a largo plazo para la salud, es todavía poco claro, pero se cuenta con buenas razones para preocuparse, porque la repetición de experiencias de este tipo, pueden llevar al deterioro crónico del desarrollo y del funcionamiento pulmonar [Gutiérrez, 1997].

### 2.2.2. Partículas.

#### Toxicocinética

El aparato respiratorio está formado por diversas estructuras tales como: nariz, laringe, tráquea, bronquios, bronquiólos, alveolos, y acinos pulmonares. Con respecto al depósito en las vías respiratorias y a la depuración de los aerosoles inhalados, se consideran tres grandes regiones: 1) Extratorácica, correspondiente a las vías que van desde las narinas hasta la epiglotis y laringe (incluyendo la boca cuando se trata de respiración oral); 2) traqueobronquial, desde la tráquea hasta

---

los bronquiolos terminales (es decir, la porción del aparato respiratorio con epitelio ciliado); y 3) región pulmonar, que incluye el parénquima pulmonar, osea los bronquiolos respiratorios, los conductos alveolares, los sacos alveolares y alveolos, es decir, la región de intercambio gaseoso [Gutiérrez, 1997].

El depósito de las partículas inhaladas en las vías respiratorias es un proceso complejo y depende tanto del patrón respiratorio como de las características físicas de las partículas inhaladas.

Durante la ventilación nasal la mayor parte de las partículas con diámetro superior a 4  $\mu\text{m}$  de diámetro (diámetro aerodinámico), se depositan en las vías respiratorias, mientras que la ventilación oral sólo se observa la impactación casi completa, solamente partículas mayores de 10  $\mu\text{m}$ . En ambos tipos de ventilación, las partículas de gran tamaño tienden a depositarse en la región superior de la tráquea. Sin embargo 20 a 30% de las partículas entre 5 y 10  $\mu\text{m}$ , inhaladas durante la ventilación oral, se depositan más abajo en la tráquea y bronquios. La penetración más profunda de las partículas cuando ocurre cuando las personas ventilan por la boca [Gutiérrez, 1997].

Las partículas pueden quedar atrapadas en distintos lugares del tracto respiratorio y no llegar al espacio alveolar, con lo cual se disminuye la entrada del tóxico al organismo. La absorción de aerosoles y de partículas, depende de su tamaño y de la solubilidad acuosa de la sustancia química presente en el aerosol o partícula. Las partículas solubles se pueden disolver en el moco nasal y transportadas a la faringe o bien, pueden ser absorbidas a través del epitelio nasal hacia la sangre [LaGrega, *et al*, 1996].

### **Toxicodinámica**

La materia particulada que entra y permanece en los pulmones puede ejercer un efecto tóxico de dos maneras distintas.

1. Partículas que son inertes por sí mismas pueden interferir con los mecanismos de limpieza del tracto respiratorio, impidiendo o retrasando la eliminación de otras partículas más nocivas. Las respuestas fisiológicas observadas incluyen un descenso en los movimientos ciliares, así como el flujo del mucus en las ramificaciones bronquiales.
2. Las partículas pueden transportar adsorbidas o adsorbidas moléculas irritantes de gas, lo que capacita a dichas moléculas para alcanzar y permanecer en las áreas sensibles de los

---

pulmones. El proceso de fijación tiene lugar cuando una molécula choca contra la superficie de una partícula y no rebota, sino que se adhiere o fija. El proceso de fijación se produce de tres formas distintas. Cuando la molécula que choca es físicamente atraída y mantenida en la superficie del particulado, se habla de adsorción. Quémorsión es el nombre dado a la fijación que implica la interacción química entre la molécula que choca y la superficie de la partícula. Si la molécula que choca se disuelve en la partícula se trata de absorción. Las partículas pueden ser intrínsecamente tóxicas y, como resultado, afectar de manera directa al cuerpo.

3. Las partículas pueden ser intrínsecamente tóxicas y como resultado afectar de manera directa al cuerpo. Tales partículas se encuentran raramente a concentraciones elevadas en el aire. No obstante, muchas sustancias intrínsecamente tóxicas se hallan presentes en forma de trazas.

### **Efectos fisiológicos, agudos o crónicos.**

Los hallazgos más claros y consistentes debidos a las partículas son los incrementos en mortalidad [Arribas, *et al*, 2001]. La mayor parte de estas muertes se debe a causas cardiovasculares y ocurre generalmente en población sensible (niños y ancianos) que sufren de enfermedades coronarias.

Las PM<sub>10</sub> están también consideradas como una causa en los incrementos de los casos de bronquitis crónica, admisiones hospitalarias por causas respiratorias o cardiovasculares, visitas a las salas de emergencia por problemas respiratorios, ataques de asma, síntomas en las vías respiratorias superiores y días de actividad restringida [Hernández, *et al*, 2000].

### **2.3 UNIDADES DE MEDIDA PARA LOS CONTAMINANTES.**

Existen dos formas comunes para expresar las concentraciones de los contaminantes atmosféricos. Una de ellas, la de partes por millón (**ppm**), está basada en medidas de volumen, representando el volumen de contaminante contenido en 1 millón de volúmenes de aire. La segunda expresión relaciona la masa de contaminante con el volumen de aire que lo contiene. La unidad utilizada con mayor frecuencia es la de microgramos por metro cúbico (**µg/m<sup>3</sup>**). Con el fin de lograr una comunicación efectiva entre las instituciones gubernamentales encargadas de la calidad de aire y

---

---

la población, se implemento una escala que expresa las concentraciones de los contaminantes existentes en el aire en una forma muy sencilla . A dicha escala se le conoce como IMECA.

## IMECA

El índice metropolitano de la calidad del aire (IMECA) es una escala igual para todos los contaminantes según su capacidad de ocasionar molestias al ser humano, en la Tabla 2.3 se muestran algunos de los efectos en salud.

Se tienen niveles establecidos de concentración y tiempos de los contaminantes donde el ciudadano promedio puede desenvolverse sin que afecte de forma significativa su salud, estos niveles son establecidos por las normas Oficiales Mexicanas para la Calidad del Aire. Los niveles de la norma ambiental para cada contaminante son diferentes, ya que la vulnerabilidad del ser humano es diferente ante cada tipo de contaminante.

**Tabla 2.3 .Descripción de los efectos en salud del índice metropolitano de la calidad del aire**

IMECA	EFFECTOS EN SALUD
0 – 100	Situación favorable para la realización de todo tipo de actividades
101 – 200	Aumento de molestias menores en la población sensible
201 – 300	Aumento de molestias e intolerancias relativas al ejercicio en la población con padecimientos respiratorios y cardiovasculares; aparición de ligeras molestias en la población en general
301 – 500	Aparición de diversos síntomas e intolerancia al ejercicio en la población en general.

El IMECA toma el valor de concentración y el tiempo de exposición que establece la norma ambiental para cada contaminante y lo asigna a los 100 puntos IMECA, de esta manera para cualquier contaminante se tiene la misma escala de ponderación en la unidad adimensional del IMECA, como se muestra en la Tabla 2.4. [SIMA, 2001a]. Para los múltiplos de 100 IMECA (Puntos de quiebre, Tabla 2.5), se han desarrollado por medio de algoritmos sencillos que toman en cuenta los criterios de salud ambiental. La calidad del aire no es satisfactoria cuando el IMECA se sitúa entre 100 y 200, mala entre 200 y 300, y muy mala por arriba de 300.

**Tabla 2.4 .Concentraciones que equivalen a los 100 puntos IMECAS.**

CONTAMINANTE	Exposición Aguda		Exposición Crónica
	CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN	FRECUENCIA MÁXIMA ACEPTABLE	(PARA PROTECCIÓN DE LA SALUD DE LA POBLACIÓN SUSCEPTIBLE)
Monóxido de Carbono (CO)	11.0 ppm (8 horas)	1 vez al año	-
Bióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.11 ppm (1 hora)	1 vez cada 3 años	-
Bióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año	-
Partículas Menores a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	150 µg/m <sup>3</sup> (24 horas)	1 vez al año	50 µg/m <sup>3</sup> (media aritmética anual)

**Tabla 2.5. Puntos de quiebre del IMECA.**

IMECA	SO <sub>2</sub> ppm (24 hr)	NO <sub>2</sub> ppm (1 hr)	CO ppm (8 hr)	PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup> (24hr)	O <sub>3</sub> ppm (1 hr)
100	0.13	0.21	11	150	0.11
200	0.35	0.66	22	350	0.23
300	0.56	1.10	31	420	0.35
400	0.78	1.60	41	510	0.48
500	1.00	2.00	50	600	0.60

## 2.4 MONITOREO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

El monitoreo del aire es el resultado de los procedimientos de muestreo y del análisis de contaminantes atmosféricos. Por tanto, es de suma importancia contar con un equipo analítico cualitativo y cuantitativo que no sólo especifique cuál es el contaminante, sino también su concentración en el ambiente.

Actualmente los sistemas de monitoreo se basan en diversas consideraciones, siendo las más relevantes las características químicas, el estado físico, y la concentración esperada de los contaminantes.

Los datos de monitoreo atmosférico son útiles para:

- determinar a lo largo del tiempo los niveles de calidad del aire,

- 
- 
- evaluar el avance en el cumplimiento de las normas de calidad del aire,
  - determinar las líneas basales de la calidad del aire antes del inicio de operación de fuentes nuevas de emisión,
  - desarrollar y evaluar los modelos de dispersión,
  - identificar episodios atmosféricos y así activar los programas de control y,
  - establecer correlaciones entre la contaminación atmosférica y los efectos en salud humana, .

#### **2.4.1 Red automática de monitoreo ambiental en el AMM**

El Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) inició su operación a partir del 20 de Noviembre de 1992 con la finalidad de contar con información continua y fidedigna de los niveles de contaminación ambiental en el Area Metropolitana de Monterrey. Así desde esta fecha la población es informada todos los días del año de la calidad del aire que se respira en el AMM. La red es administrada y operada por la Subsecretaría de Ecología de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Gobierno de Nuevo León [INE, 2001].

El SIMA fue concebido como una fuente de información de las condiciones ambientales en el estado, por lo que apoya a las instituciones educativas y particulares con la transferencia de conocimientos a través de conferencias y visitas a la red de monitoreo ambiental del SIMA, además de informar de las variables de contaminación que son medidas en la red de monitoreo ambiental. La red de monitoreo ambiental del SIMA consta de 5 estaciones fijas de monitoreo ambiental, una unidad móvil de monitoreo y un sistema Sodar-Doppler para la medición de las condiciones atmosféricas hasta una altura de 1500 metros y especialmente para la detección de inversiones térmicas. Las estaciones de monitoreo ambiental funcionan de manera automática y es supervisada su operación desde el centro de cómputo del SIMA.

Los contaminantes monitoreados son:

- Partículas Menores a 10 Micras
- Oxidos de Nitrógeno
- Ozono
- Bióxido de Azufre

- 
- Monóxido de Carbono

Además de los siguientes parámetros meteorológicos:

- Dirección y velocidad de viento
- Temperatura
- Radiación solar
- Presión atmosférica
- Precipitación Pluvial

El método por medio del cual se realizan las mediciones de contaminantes es continuo, es decir, combina el muestreo y el análisis en una sola etapa. El equipo utilizado es automático, por lo que envía una señal de respuesta a un registrador análogo cada 5 minutos. El equipo se calibra constantemente para tener mediciones confiables.

#### 2.4.2 Ubicación de las estaciones de monitoreo ambiental.

Las estaciones fijas de monitoreo ambiental están localizadas en puntos estratégicos del AMM, para así tener una representatividad de las condiciones de contaminación en cinco zonas del área metropolitana. La localización exacta de las estaciones de monitoreo dependió de un número de factores tales como: el tamaño del área a monitorear, la meteorología local, la concentración humana, la topografía de la zona, la dispersión de contaminantes y las consideraciones representativas de escalas para el objetivo específico de la red. En la Figura 4. Se muestra la ubicación de cada una de las estaciones de monitoreo en el AMM [SIMA, 2001].

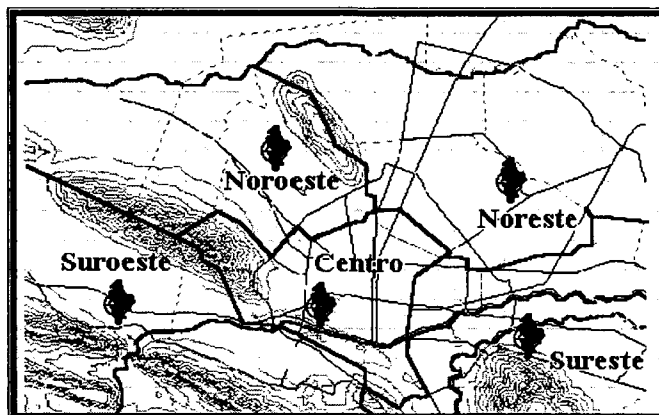


Figura 2.1. Ubicación de las estaciones de monitoreo



---

---

### **Estación Sureste**

Ubicada en el parque La Pastora en Guadalupe, N.L. Dicha estación está localizada a favor del viento de un limitado corredor industrial en un área altamente poblada. La escala espacial es vecindad/urbana, como el resto de las estaciones de monitoreo, lo que nos da una representatividad de un área de aproximadamente 10 kilómetros alrededor. Esta estación no está influenciada por grandes fuentes industriales y da un buen indicador de los niveles de contaminación urbanos del sureste del área Metropolitana de Monterrey. Esta estación es importante por que nos sirve para detectar el incremento en los niveles de calidad del aire de entrada al área Metropolitana de Monterrey de este a oeste [SIMA, 2001].

### **Estación Noreste**

Ubicada en la colonia Unidad Laboral en San Nicolás de los Garza, N.L. Esta estación está localizada a favor del viento de un corredor industrial en un área altamente poblada. Esta estación aunque está localizada cerca de una área industrial, no está influenciada directamente por una industria en particular, aunque en ciertos episodios meteorológicos se ve la influencia de la Planta Termoeléctrica de la CFE. Dicha estación nos sirve para determinar los impactos de las fuentes fijas, en la parte norte del área metropolitana de Monterrey [SIMA, 2001].

### **Estación Centro**

Ubicada en los patios de Agua y Drenaje de Monterrey en el área del Obispado. La estación fue ubicada para monitorear la contaminación de fuentes vehiculares e industriales en el centro del área Metropolitana de Monterrey, para medir impactos del tráfico y la mezcla de los contaminantes de la mayoría de las fuentes industriales. Las mediciones de esta estación representan la contaminación urbana máxima de Oxidos de Nitrógeno y Ozono principalmente [SIMA, 2001].

### **Estación Noroeste**

Ubicada en los talleres de Monterrey, en la Col. San Bernabé, Monterrey, N.L. Esta estación se encuentra localizada a favor del viento de salida hacia el Oeste de la mayoría de las fuentes industriales y del tráfico del área Metropolitana de Monterrey, en una área de alta concentración de población. Es una de las mejores ubicaciones para medir concentraciones máximas de algunos

---

---

contaminantes, como las Partículas Menores a 10 Micras, Oxidos de Nitrógeno y contaminantes secundarios como son el Ozono [SIMA, 2001].

### **Estación Suroeste**

Ubicada en el centro de Santa Catarina, N.L. Esta estación está localizada a favor del viento de la mayoría de las fuentes industriales en Monterrey, San Pedro Garza García y Santa Catarina. Como la estación Noroeste, esta estación es donde regularmente se presentan las más altas concentraciones de algunos contaminantes, como las Partículas Menores a 10 Micras y contaminantes secundarios en el caso del Ozono. Se ha comprobado que las mediciones de esta estación, son representativas de las encontradas dentro del valle donde se encuentra localizada la estación [SIMA, 2001].

---

---

## CAPITULO 3

### CALIDAD DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD DE LOS HABITANTES DEL AMM.

Los factores físicos del ambiente, tales como la temperatura, la luz, la humedad, la carga iónica, la presión atmosférica y los vientos, se unen para configurar uno de los conjuntos biofísicos que con mayor importancia incide sobre la salud y el modo de vida: el clima. Estos fenómenos influyen de forma importante sobre el organismo, bien produciendo directamente procesos patológicos –insolación, congelaciones, mal de altura<sup>e</sup>, deshidratación- o favoreciendo por vía indirecta las condiciones de propagación de las enfermedades –aparición de agentes portadores de gérmenes de una enfermedad- y la exaltación de la virulencia de los agentes patógenos –patología estacional: en verano, afecciones gastrointestinales; en invierno afecciones respiratorias-. A estos factores hay que añadir los elementos contaminantes del medio ambiente que cada vez son más importantes [Mestre, 1982].

En el presente Capítulo se exponen aquellos factores (contaminantes, condiciones meteorológicas y datos epidemiológicos) que permiten analizar las relaciones existentes entre la contaminación del aire y las enfermedades respiratorias. Se explica por separado cada uno de ellos, haciendo uso de la información recopilada mediante figuras, tablas, y/o mapas. Esta información comprende un horizonte de dos años (1999 y 2000) y el universo de estudio, la población del Area Metropolitana de Monterrey.

#### 3.1. CONTAMINACIÓN DE O<sub>3</sub> Y PM<sub>10</sub> EN EL AMM.

Para estimar la exposición a los contaminantes, se cuenta con los promedios semanales de las concentraciones máximas diarias – de domingo a sábado – de ozono (O<sub>3</sub>) y partículas (PM<sub>10</sub>), para cada una de las cinco estaciones de monitoreo del SIMA<sup>f</sup>, [INE,2001].

---

<sup>e</sup> Mal de Altura: estado morbooso causado por la disminución de la presión atmosférica en las ascensiones a las alturas.

<sup>f</sup> SIMA, Datos de calidad del aire y meteorología , 1999-2000.

La ubicación geográfica de las estaciones es la siguiente:

Estación La Pastora	Zona Sureste
Estación San Nicolás	Zona Noreste
Estación Obispado	Zona Centro
Estación San Bernabé	Zona Noroeste
Estación Santa Catarina	Zona Suroeste

### Concentración promedio mensual de ozono

En las Figuras 3.1 y 3.2, se presenta el comportamiento de las concentraciones<sup>8</sup> del ozono en cada una de las estaciones de monitoreo. Es importante señalar que en tres de las estaciones de monitoreo (centro, sureste y noreste) hubo períodos donde no se determinaron las mediciones para este contaminante durante el año de 1999 (Figura 3.1). Este período para la estación centro ocurrió en los meses de mayo a septiembre, mientras que para las estaciones sureste y noreste fue en los meses de enero a diciembre. Durante el año 2000, la estación sureste es la única que presenta un período de 4 meses consecutivos (abril a junio) sin mediciones de este contaminante. La zona suroeste (Estación Santa Catarina) y la zona noroeste (Estación San Bernabé) son las dos estaciones que tienen los promedios mensuales de concentraciones de ozono más altos durante los dos años de estudio.

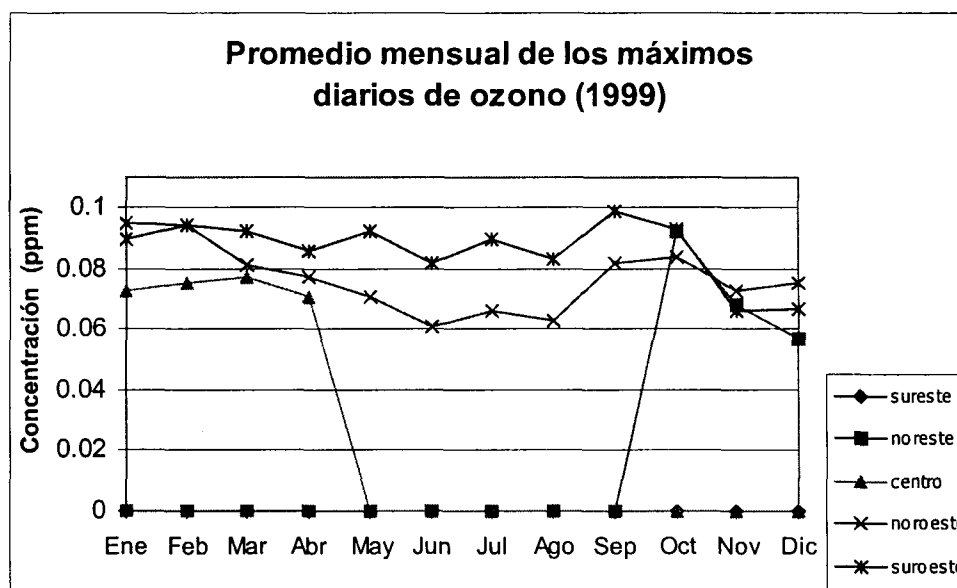


Figura 3.1 Promedio mensual de los máximos diarios de ozono, para cada una de las 5 estaciones de monitoreo del AMM (1999). Fuente: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA). Subsecretaría de Ecología del gobierno del estado de Nuevo León.

<sup>8</sup> El Anexo 1, contiene las Tablas de los valores de las concentraciones de ozono y partículas representados en cada una de las figuras.

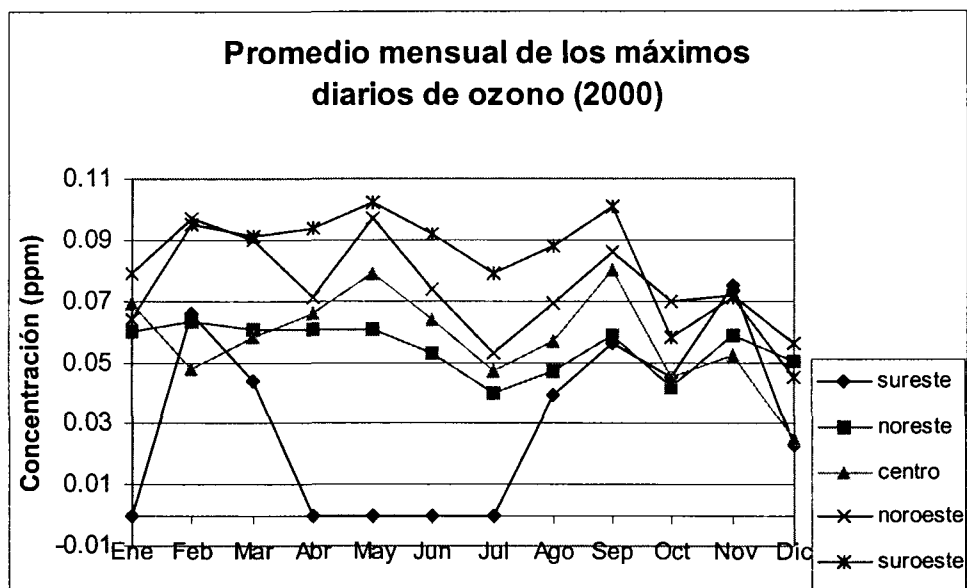


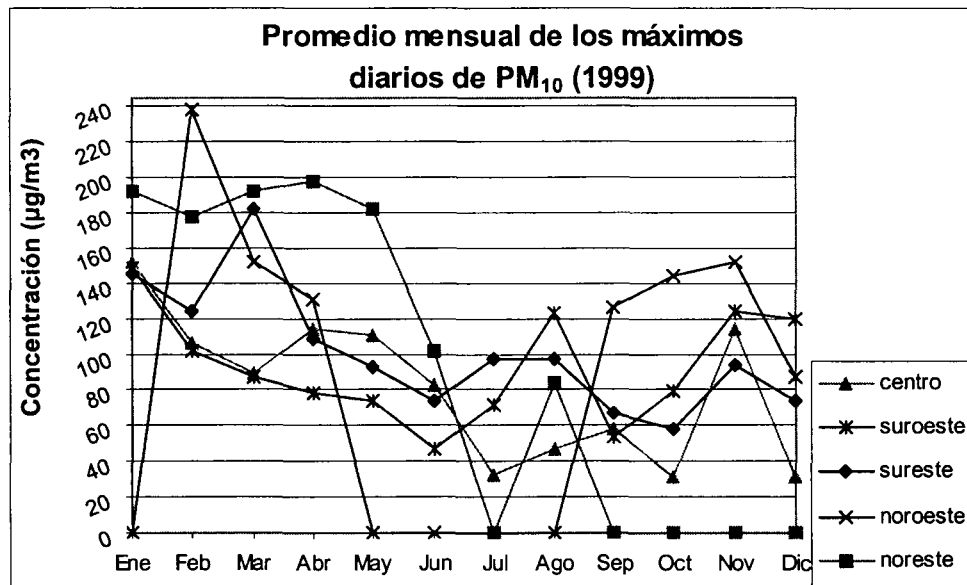
Figura 3.2 Promedio mensual de los máximos diarios de ozono, para cada una de las 5 estaciones de monitoreo del AMM (2000). Fuente: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA). Subsecretaría de Ecología del gobierno del estado de Nuevo León.

Como puede apreciarse en la Figura 3.2, en el año 2000 pueden compararse 4 de las 5 estaciones de monitoreo (ya que en una de ellas hay periodos sin mediciones). Se observa que la estación suroeste es la de mayor contaminación por ozono, seguida de la estación noroeste. Esto puede dar un indicio de que la población puede ser afectada de forma diferente de acuerdo a la zona donde habiten y es lógico suponer que probablemente la demanda en los servicios médicos pudiera verse afectada de igual manera. En cuanto a las épocas del año, se puede decir que en los meses de enero, febrero, y de octubre a diciembre, la contaminación por  $O_3$  disminuye un poco y en los meses restantes es cuando se presentan los niveles más altos del año.

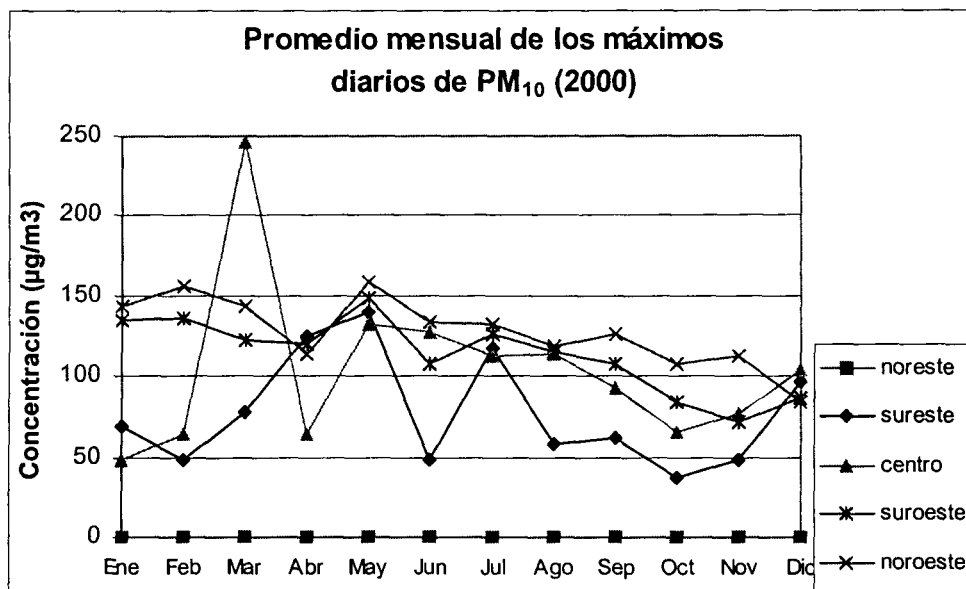
Por otra parte, si se comparan los niveles registrados de concentración de ozono en el AMM, con la norma horaria (exposición aguda 1 hr.) de 0.11 ppm podemos decir que los niveles son aceptables, pero en el caso de una exposición crónica donde se podría tomar como referencia la norma anual oficial en E.U.A. que es de 0.80 ppm, estaríamos hablando de un problema grave de exposición crónica, debido a que algunas estaciones sobrepasan este valor en varios meses del año.

## Concentración promedio mensual de PM<sub>10</sub>

Por su parte las partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>) muestran un comportamiento muy variable en cada estación a lo largo del año. En general, podemos decir que la tendencia es similar en las estaciones, es decir, durante los meses de enero a marzo y octubre a diciembre, aumentan los niveles de contaminación, posteriormente muestran una ligera disminución entre los meses de abril a junio, para volver a aumentar durante el verano. En la Figura 3.3, muestra que durante 1999, la estación noreste tiene un período de 5 meses (julio, septiembre a diciembre) sin monitoreo de PM<sub>10</sub>, mientras que en la estación noroeste ocurre durante los meses de mayo a agosto. Para el año 2000 sólo la estación noreste no presenta ninguna medición a lo largo del año para dicho contaminante (Figura 3.4).



**Figura 3.3** Promedio mensual de los máximos diarios de PM<sub>10</sub>, para cada una de las 5 estaciones de monitoreo del AMM (1999). Fuente: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA). Subsecretaría de Ecología del gobierno del estado de Nuevo León.



**Figura 3.4** Promedio mensual de los máximos diarios de PM<sub>10</sub>, para cada una de las 5 estaciones de monitoreo del AMM (2000). Fuente: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA). Subsecretaría de Ecología del gobierno del estado de Nuevo León.

En el año de 1999 se destaca el comportamiento de las estaciones suroeste y sureste en general como las que presentan promedios mensuales superiores al resto de las estaciones. Comparando los niveles de contaminación con la norma diaria de 150 µg/m<sup>3</sup> (24 hr. exposición aguda), podemos decir que son aceptables dichos niveles, ya que sólo dos de las estaciones rebasan este valor. Caso contrario ocurre al comparar estos niveles con la media aritmética anual de 50 µg/m<sup>3</sup> (exposición crónica), ya que estaríamos hablando de un problema severo de contaminación por partículas (PM<sub>10</sub>), ya que durante todo el año es rebasado este valor. Lo cual tendría repercusiones negativas sobre la salud de la población de AMM.

### 3.2 CONDICIONES METEREOLÓGICAS.

El clima, como se mencionó con anterioridad desempeña un rol importante, ya que influye especialmente en todo lo que se refiere a la actuación de los contaminantes atmosféricos. Debido a que muchas de las reacciones entre varios contaminantes se efectúan en presencia de la luz solar o por acción de los rayos UV, y se facilitan ante situaciones de presiones atmosféricas altas, con calmas metereológicas que impiden la difusión y la dispersión, provocando así la persistencia de los agentes contaminantes y el aumento en su concentración en la atmósfera.

---

---

Para la realización de este estudio se tomaron en cuenta dos factores meteorológicos que además de estar relacionados con la contaminación, están también asociados con ciertas patologías estacionales (como son las enfermedades respiratorias en épocas invernales), los cuales son: la humedad y la temperatura.

- **Humedad**

La humedad juega un papel negativo en la evolución de los contaminantes ya que favorece la acumulación de humos y partículas. Generalmente disminuye la humedad con la altitud, con variaciones a lo largo del día.

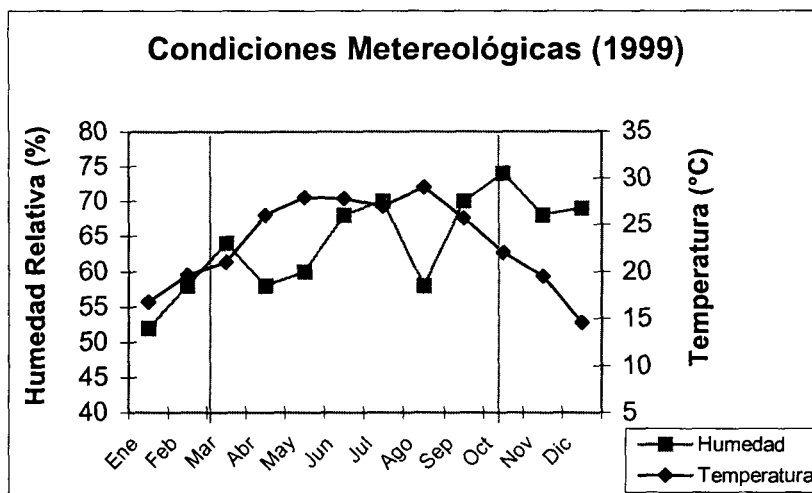
Por otra parte, el vapor de agua puede reaccionar con ciertos aniones aumentando la agresividad de los mismos, por ejemplo el trióxido de azufre en presencia de vapor de agua se transforma en ácido sulfúrico.

- **Temperatura**

La temperatura es un factor determinante en la dispersión de los contaminantes ya que influye sobre la altura de capa de mezclado, es decir, al incrementarse la temperatura de la atmósfera, también lo hace la energía cinética de las moléculas del aire y en consecuencia la altura de mezclado tiene un crecimiento mayor, de tal forma que entre mayor sea el alcance vertical, mayor será el volumen disponible de la atmósfera para diluir la concentración de los contaminantes .

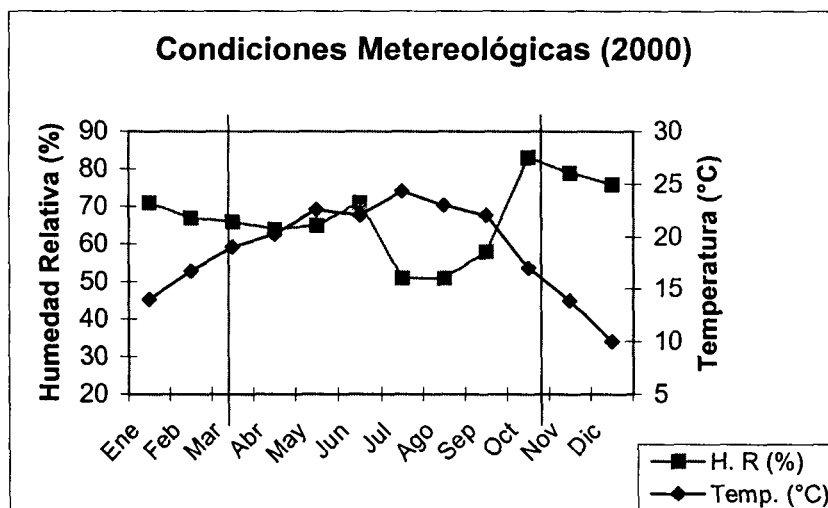
Para el estudio del AMM se definieron dos épocas para cada año: fría y cálida. Los criterios para esta definición fueron los promedios mensuales de temperatura y humedad. Las épocas frías tuvieron temperaturas inferiores a 20 ° C y las cálidas superiores a este valor.





**Figura 3.5** Promedio mensual de la temperatura y humedad(1999). Fuente: Servicio Metereológico Nacional.

En la Figuras 3.5 y 3.6, se muestran la temperatura y humedad promedio mensual de los años 1999 y 2000. Se destaca que en 1999 la época fría corresponde a los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. Y la cálida corresponde a los meses de marzo a octubre. Los promedios mensuales de humedad oscilaron entre 50 – 74 % H.R., mientras que los promedios mensuales de temperatura se encontraban entre 14 – 28 °C.



**Figura 3.6** Promedio mensual de la temperatura y humedad (2000). Fuente: Servicio Metereológico Nacional.

Para el año 2000, la Figura 3.6 muestra el comportamiento mensual de temperatura y humedad. En este año, la época fría integró a los meses de enero a marzo y la cálida los meses de

---

---

abril a septiembre. La humedad mínima promedio mensual fue de 51% y la máxima de 83%. En lo que respecta a la temperatura promedio mensual los valores se encontraban entre 14 y 24 °C.

Los valores de ambas gráficas son promedios mensuales, por lo que hay ocasiones en que la temperatura alcanza valores máximos diarios por encima de los 40°C en época de verano, y los valores mínimos diarios estuvieron cercanos a los 0 ° C en la época invernal. Por tanto, es de esperarse que las enfermedades respiratorias se presenten precisamente cuando la temperatura es inferior a 20 °C, es decir, en la época invernal. Este hecho es confirmado al analizar las gráficas de los índices endémicos para las infecciones respiratorias agudas y neumonía (Figuras 1.2 y 1.3), presentados en el Capítulo 1.

### **3.3 DATOS EPIDEMIOLÓGICOS DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS: INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS Y NEUMONÍA.**

Existen diversas fuentes para obtener la información de servicios de salud. Entre las más destacadas se encuentran el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), el Desarrollo Integral de la Familia (DIF) y diversas instituciones privadas prestadoras de servicios médicos. Debido a las políticas de las propias instituciones o factores externos a las mismas no fue posible acceder a sus bases de datos. Por lo tal motivo, se optó por incluir a la fuente de datos epidemiológicos más representativa, ya que abarca la mayoría de derechohabientes en el AMM (IMSS), además de que cumple con todas las características de la información convenientes para el estudio. Por lo que es importante resaltar que el número de consultas otorgadas en el AMM por enfermedades respiratorias (IRA y Neumonía) es mayor al citado en este trabajo.

El IMSS Delegación Nuevo León, esta conformado por 61 unidades médicas que están localizadas estratégicamente en todo el estado. Cada una ellas cuenta con una base de datos donde son registrados los servicios médicos otorgados. Semanalmente estos datos son reportados al departamento de Informática y Estadística Médica de la Delegación Nuevo León. Este departamento tiene como función recopilar y analizar la información de todo el estado.

---

---

La secuencia para la recopilación de la información es de la siguiente manera: primero se seleccionaron de las 61 unidades médicas del IMSS, aquellas que prestan sus servicios dentro del AMM.

Las unidades médicas incluidas en el estudio son las siguientes:

<b>Unidades Médicas de Primer Nivel</b>	<b>Ubicación</b>
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 3	AV. FELIX U. GOMEZ Y COLON Col. Centro C.P. 64000 Monterrey, N.L.
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 5	AV. IGNACIO MORONES PRIETO Y LOMA LARGA Col. Loma Larga C.P. 64710 Monterrey, N.L.
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 7	CARRET. SALTILLO Y AV. SAN PEDRO Col. 0 C.P. 68210 San Pedro Garza García
▪ Unidad de Medicina Familiar N°15	AV. RUIZ CORTINEZ Y CERESO Col.Moderna C.P. 64530 Monterrey, N.L.
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 26	LINCOLN Y PATRIMONIO FAMILIA Col. Valle verde C.P. 64360 Monterrey, N.L.
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 27	CARDENAL Y GORRION Col.Exposición C.P. 67100 Guadalupe, Nuevo León
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 28	AV. PENITENCIARIA Y FIDEL VELÁSQUEZ Col. Bernardo Reyes C.P. 64280 Monterrey, N.L.
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 29	PABLO LIVAS 5501 Col.Zertuche C.P. 67190 Guadalupe, Nuevo León
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 30	AV. MARGARITA MAZA DE JUAREZ Y LOS PINOS Col. Chula Vista C.P. 67190 Guadalupe, Nuevo León.
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 31	BENITO JUAREZ Y CARRET. A LAREDO Col. 0 C.P. 66460 San Nicolás de los Garza, Nuevo León
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 32	ARTEAGA Y JIMENEZ Col. Paraíso C.P. 67140 Guadalupe, Nuevo León.
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 35	V. SOLIDADRIDAD Y MAGNOLIA Fracc. Aztlan C.P. 64730 Monterrey, N.L.

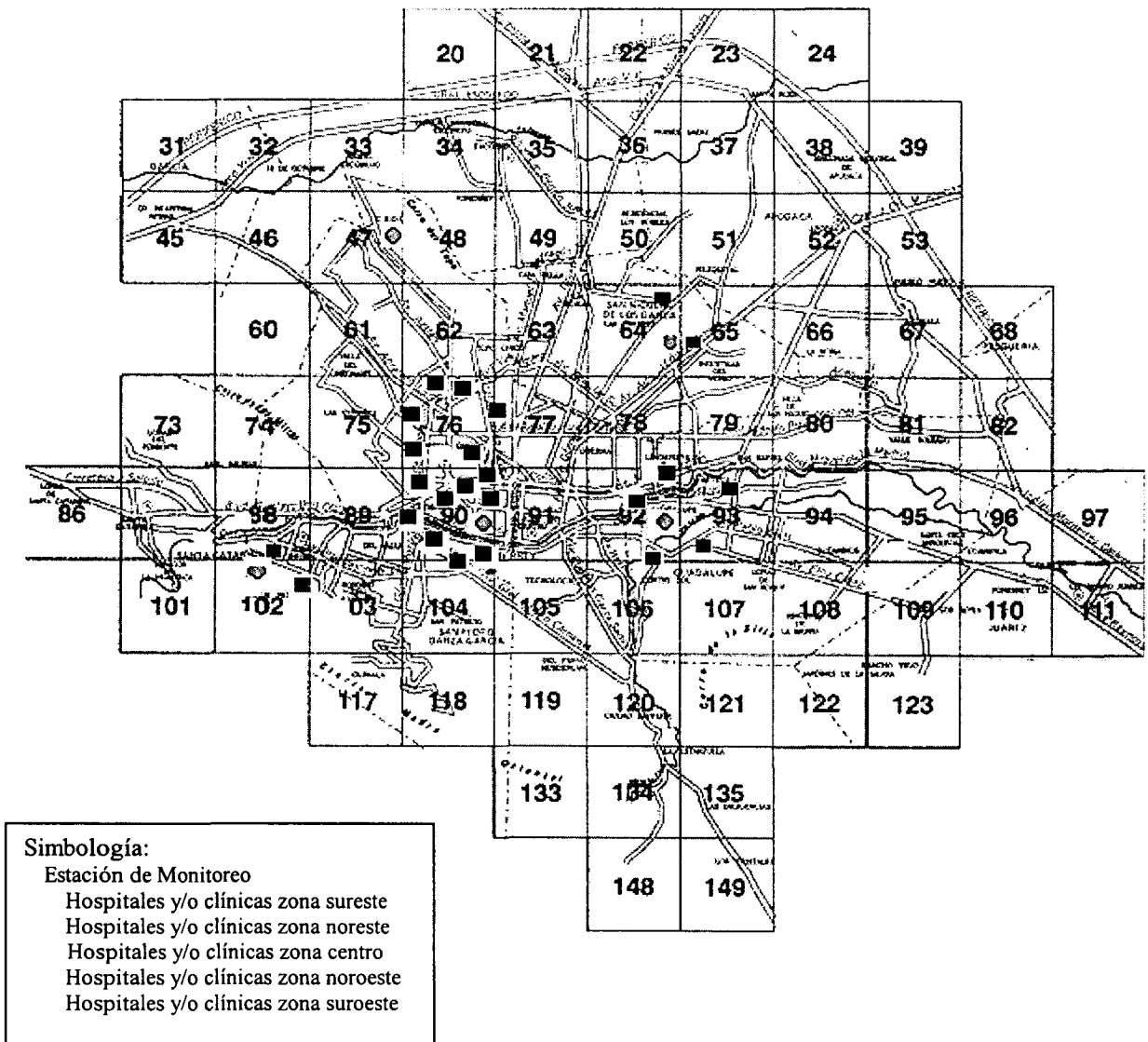
---

▪ Unidad de Medicina Familiar N° 36	LAZARO CARDENAS 6751 Col. 15 de Septiembre C.P. 64760 Monterrey, N.L
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 37	URDIALES Y PROLONGACION MADERO Col. 0 C.P. 64460 Monterrey, N.L
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 38	JUAN I. RAMON Y GUERRERO Col. Centro C.P. 64000 Monterrey, N.L
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 39	ESTORNINO Y RUIZ CORTINEZ Col. Valle Verde C.P. 64117 Monterrey, N.L
▪ Unidad de Medicina Familiar N° 58	CARRETERA A SALTILLO S/N Col. 0 C.P. 66210 San Pedro Garza García
<b>Unidades Médicas de Segundo Nivel</b>	<b>Ubicación</b>
▪ Hospital General de Zona con Medicina Familiar N° 2	AV. CONSTITUCION OTE. Y PROFR. G. TORRES Col. Centro C.P. 64010 Monterrey, N.L.
▪ Hospital General de Zona con Medicina Familiar N° 6	AV. JUAREZ Y CARRET. LAREDO Col. 0 C.P. 66480 San Nicolás de los Garza, N.L
▪ Hospital General de Zona N° 17	FORTUNATO LOZANO Y ROBLE Col. Benito Juárez C.P. 64420 Monterrey, N. L.
<b>Unidades Médicas de Tercer Nivel</b>	<b>Ubicación</b>
▪ Hospital de Traumatología y Ortopedia No. 21	PINO SUAREZ Y 15 DE MAYO Col. Centro C.P. 64010 Monterrey, N.L.
▪ Hospital Regional de Pediatría N° 22	RAYONES 965 Col. Nogales C.P. 64260 Monterrey, N.L.
▪ Hospital de Ginecología y Obstetricia N° 23	AV. CONSTITUCION Y FELIX U. GOMEZ Col. Cento C.P. 64010 Monterrey, N. L.
▪ Hospital Regional de Especialidades No. 25	LINCOLN Y GONZALITOS Col. 0 C.P. 64320 Monterrey, N. L
▪ Hospital Regional de Especialidades No. 34	LINCOLN Y PATRIMONIO FAMILIAR Col. Valle Verde C.P. 64730 Monterrey, N. L

Estos hospitales y clínicas fueron localizados geográficamente en el AMM. Posteriormente se les asignó una estación de la red de monitoreo del SIMA (Figura 3.7) de acuerdo a la cercanía

geográfica que presentaban con alguna de ellas. Lo anterior se realiza con el fin de estimar la concentración del contaminante presente en la zona a la cual estaban expuestos los pacientes que demandaron atención médica.

En el mapa puede apreciarse que la mayoría de las unidades médicas del IMSS se ubican principalmente en la zona centro del municipio de Monterrey, los números de las unidades médicas se presentan en la Tabla 3.1.



**Figura 3.7** Localización de las Clínicas y Hospitales del IMSS en el AMM.

**Tabla 3.1.** Hospitales y Clínicas del IMSS correspondientes a cada estación de monitoreo.

• Estaciones de Monitoreo				
Estación Sureste	Estación Noreste	Estación Centro	Estación Noroeste	Estación Suroeste
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hospitales y/o Clínicas No. 27,29, 30, 32</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hospitales y/o Clínicas No. 6 y 31.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hospitales y/o Clínicas No. 2, 3 ,5 15,17, 21,22,23, 25, 26, 28, 34, 35, 36, 37, 38 y 39.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No hay ninguna clínica asociada a dicha estación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hospitales y/o Clínicas No. 7 y 58.</li> </ul>

De las clínicas y hospitales seleccionados es necesario obtener el número de consultas que fueron otorgadas por padecimientos de Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) y Neumonías<sup>h</sup>. Esta información fue extraída de la base de datos del Sistema de Informática Médica<sup>i</sup>. La información es semanal<sup>j</sup>, y contempla únicamente las consultas de primera vez, con la finalidad de excluir a pacientes crónicos y subsecuentes, ya que estos hubieran incidido sobre el total semanal.

Las enfermedades respiratorias que comprenden son:

- Infecciones Respiratorias Agudas: (J00, J01, J02)
  1. Bronquitis y bronquiolitis aguda (J20-J21)
  2. Faringitis, amigdalitis y laringitis (J02.8-J02.9)
  3. Infecciones agudas de las vías respiratorias de localización múltiple (J06)
  4. Rinofaringitis aguda (J00)
  5. Sinusitis aguda (J01).
- Neumonía (J12-J13, J15)

<sup>h</sup> Infecciones Respiratorias Agudas y Neumonías; de acuerdo a la 9ª y 10ª revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-9ª rev. Y CIE-10ª rev.).

<sup>i</sup> SIVE. Sistema de Informática Médica 1999 y 2000.

<sup>j</sup> Debido a la gran cantidad de información generada de las consultas otorgadas en el AMM, no fue posible anexarla, sin embargo esta disponible para cualquier aclaración referente a este estudio.

Como en el estudio se desea conocer qué grupos poblacionales son los más susceptibles a contraer las enfermedades respiratorias antes descritas, es necesario saber como se distribuyen las consultas que fueron otorgadas de acuerdo al grupo de edad. Para ello el IMSS clasifica las consultas otorgadas en los siguientes grupos:

<b>Año: 1999</b>	<b>Año: 2000</b>
Menores de 1 año	Menores de 1 año
1 – 4 años	1 – 4 años
5 – 14 años	5 – 9 años
15 – 24 años	10 – 14 años
25 – 44 años	15 – 19 años
45 – 64 años	20 – 24 años
Mayores de 65 años	25 – 44 años
Total de casos por semana.	45 – 49 años
	50 – 59 años
	60 – 64 años
	Mayores de 65
	Total de casos por semana

En las Tablas 3.2 y 3.3, se resumen<sup>k</sup> el total de casos que se presentaron por infecciones respiratorias y neumonía en cada una de las unidades médicas del Area Metropolitana de Monterrey. En la Tabla 3.2, se puede observar que en lo que respecta a Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), en 1999 las unidades médicas que reportaron un mayor número de consultas por cada 1000 derechohabientes fueron las Unidades de Medicina Familiar No. 29 (ubicada en el mpio. de Guadalupe), la No. 39 (ubicada en el mpio. de Monterrey) y el Hospital General de Zona con Medicina Familiar No. 6 (ubicado en el mpio. de San Nicolás de los Garza). Y las que reportaron menor número de consultas por cada 1000 derechohabientes fueron la Unidad de Medicina Familiar No. 27 (ubicada en el mpio. de Guadalupe) y la unidad No. 37 (ubicada en el mpio. de Monterrey). En cuanto a Neumonía, la Unidad de Medicina Familiar No. 6 es la que reporta mayor número de consultas por cada 1000 derechohabientes, en contraste la Unidad No. 37 es la que reporta el menor número de consultas otorgadas por cada 1000 derechohabientes.

<sup>k</sup> Los datos de cada uno de los hospitales y clínicas por semana, que se emplearon en el análisis estadístico no fueron anexados debido a la gran cantidad de información, por tal motivo se presentó únicamente el resumen anual de cada uno de ellos en las tablas 3.1 y 3.2.

**Tabla 3.2** Porcentaje de consultas otorgadas por infecciones respiratorias agudas y neumonía, por unidad médica en el año 1999.

Hospital o Clínica del IMSS	Población Derechohabiente	Total de Servicios Otorgados	Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)	Neumonía	No. de consultas de IRA <sup>1</sup> /1000 derechohabientes	No. de consultas de N <sup>2</sup> /1000 derechohabientes
2	85103	326248	38710	489	454.9	5.7
3	63477	217715	33600	225	529.3	3.5
5	72247	223053	37057	1160	512.9	16
6	87806	442211	87974	3254	1001.9	37
7	141946	448198	83664	417	589.4	2.9
15	155054	497783	78820	442	508.3	2.8
17	-	163198	10177	1465	-	-
21	-	221683	92	2	-	-
22	-	5171	0	0	-	-
23	-	234700	837	180	-	-
25	-	176425	1360	110	-	-
26	97141	327167	58094	378	598	3.9
27	49862	145066	20451	27	410.2	1
28	122692	391654	66323	278	540.6	2.3
29	46167	156765	31900	61	691	1.3
30	83449	250339	39262	148	470.5	1.8
31	146769	422056	73454	394	500.5	2.7
32	135687	402650	70431	281	519.1	2.1
34	-	42308	210	260	-	-
35	94995	277369	51842	247	545.7	2.6
36	57995	185645	33479	88	577.3	1.5
37	38872	104864	14832	18	381.6	0.5
38	9833	35983	5453	8	554.6	1
39	41145	122359	26300	40	639.2	1.
58	36964	92291	17979	28	486.4	1.

<sup>1</sup>IRA: Infecciones respiratorias agudas.

<sup>2</sup>N: Neumonía

\* Espacios en blanco corresponden a clínicas de tercer nivel, en donde no hay una población derechohabiente específica, ya que son pacientes remitidos de otras clínicas u hospitales.

Para el año 2000 (Tabla 3.3) en cuanto a Infecciones Respiratorias Agudas se refiere, nuevamente la Unidad de Medicina Familiar No. 29 es una de las que reporta mayor número de consultas por cada 1000 derechohabientes, al igual que la Unidad No. 38 (ubicada en el mpio. de Monterrey). De las que reportaron menor número de consultas (por cada 1000 derechohabientes) fueron la Unidad de Medicina Familiar No. 7 (ubicada en el mpio. de San Pedro Garza García) y la No. 37. Es importante señalar que esta última se mantuvo con niveles bajos de consultas otorgadas en los dos años de estudio.



De las consultas otorgadas por Neumonía en este mismo año, las que reportaron mayor y menor número fueron el Hospital General de Zona No. 6 (ubicado en San Nicolás de los Garza) y la Unidad de Medicina Familiar No. 37 respectivamente.

**Tabla 3.3** Porcentaje de consultas otorgadas por infecciones respiratorias agudas y neumonía, por unidad médica en el año 2000.

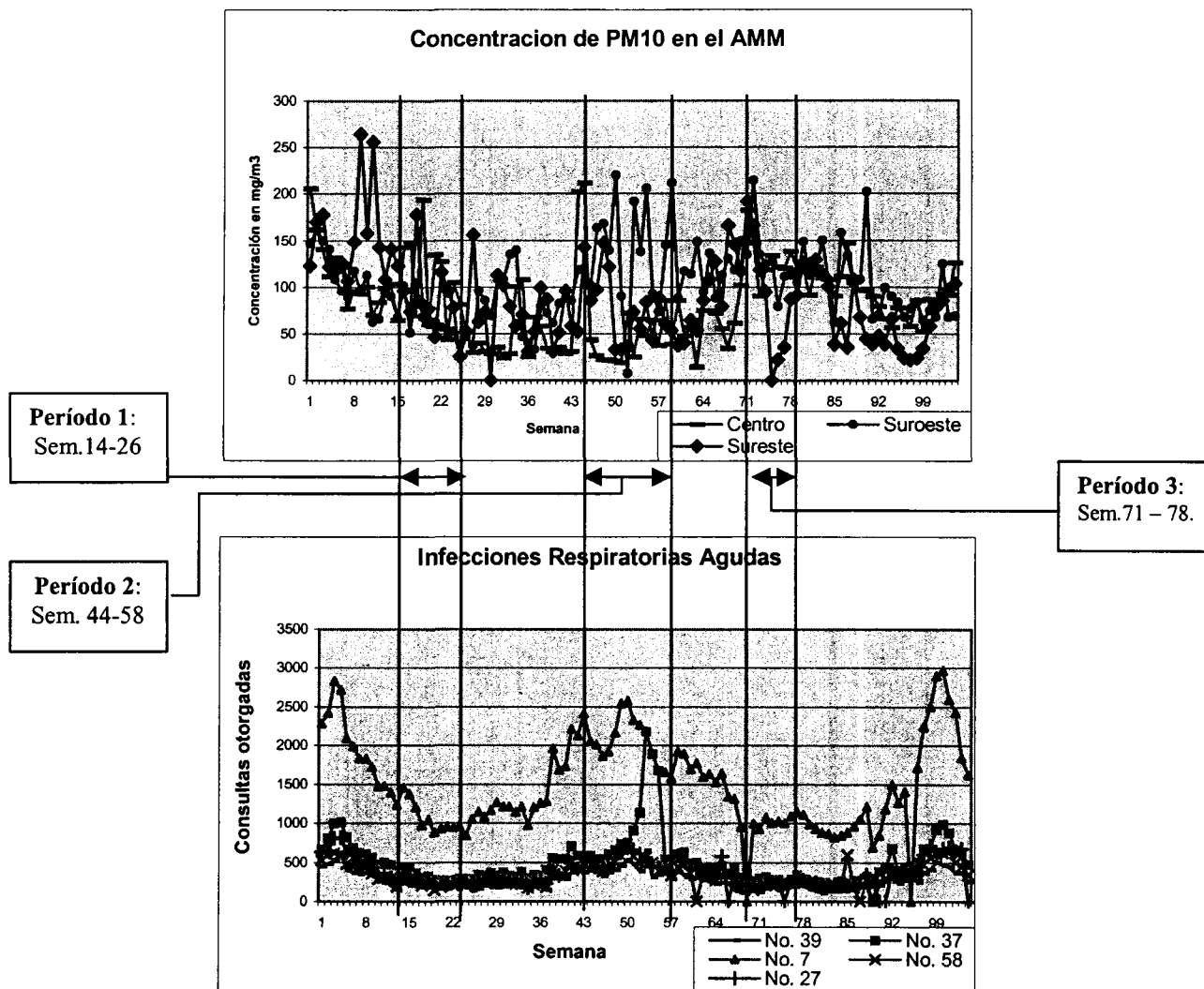
Hospital o Clínica del IMSS	Población Derechohabiente	Total de Servicios Otorgados	Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)	Neumonía	No. de consultas de IRA <sup>1</sup> /1000 derechohabientes	No. de consultas de N <sup>2</sup> /1000 derechohabientes
2	98482	346905	39829	388	404.4	3.9
3	69543	212087	30997	189	445.7	2.7
5	76947	217120	31535	82	409.8	1.1
6	99319	437744	33069	981	332.9	9.9
7	154550	427404	72358	399	468.2	2.6
15	165949	466942	69589	285	419.3	1.7
17	-	151256	8113	1431	-	-
21	-	231010	28	4	-	-
22	-	5473	0	0	-	-
23	-	231433	3778	18	-	-
25	-	188742	388	32	-	-
26	105871	321075	52486	374	495.7	3.5
27	53380	142941	18939	31	354.8	0.6
28	133911	374950	62961	301	470.2	2.2
29	50971	153608	30752	88	603.3	1.7
30	88940	247333	36752	107	413.2	1.2
31	159136	463004	61870	331	388.8	2.1
32	146400	386096	63142	261	431.3	1.8
34	-	39154	110	122	-	-
35	103082	276731	44905	157	435.6	1.5
36	54462	156267	26432	103	485.3	1.9
37	42341	100356	12792	19	302.1	0.4
38	10033	34286	5458	9	544	1.
39	45024	117893	22444	29	498.4	0.6
58	40350	89086	16824	43	416.9	1.

<sup>1</sup>IRA: Infecciones respiratorias agudas.

<sup>2</sup>N: Neumonía

\* Espacios en blanco corresponden a clínicas de tercer nivel, en donde no hay una población derechohabiente específica, ya que son pacientes remitidos de otras clínicas u hospitales.

Adicionalmente de las tablas anteriores se seleccionaron cinco de las unidades médicas<sup>1</sup> (7, 27, 37, 39 y 58) con la finalidad de buscar una correlación para algunos períodos donde se observan incrementos en los niveles de contaminación por PM<sub>10</sub> y ozono. Para lo cual, se graficó el número de consultas otorgadas por infecciones respiratorias agudas vs. tiempo (semana), y la concentración de ozono y partículas vs. tiempo (semana), Figuras 3.7 y 3.8.

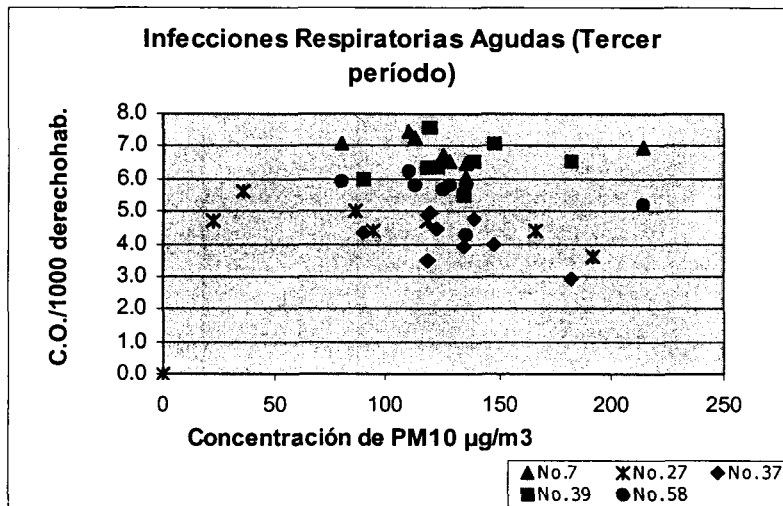
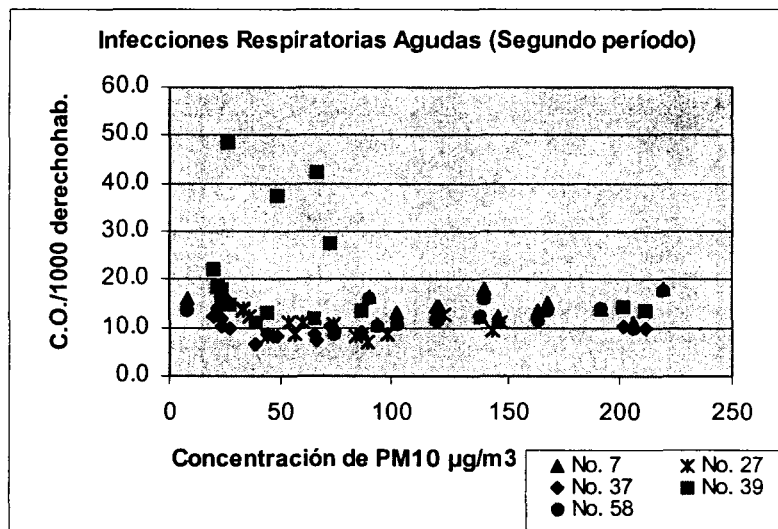
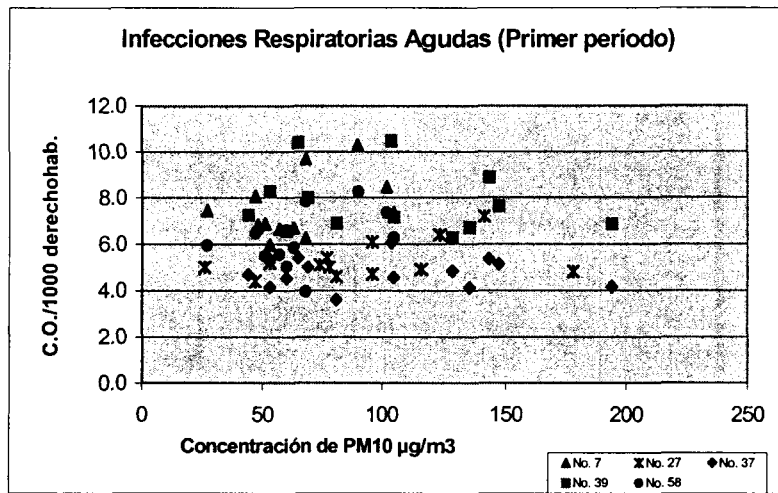


**Figura 3.8.** Comparativo de los niveles de contaminación por PM<sub>10</sub> con enfermedades respiratorias en el AMM.

- **Análisis de periodos de contaminación elevada para PM<sub>10</sub>**

De la figura 3.8, para el caso de las PM<sub>10</sub> se seleccionaron 3 periodos donde aumentaron los niveles de concentración de partículas. El primer periodo comprende de la semana 14 a la 26, el segundo de la semana 44 a 58 y el tercero de la semana 71 a 78. Los promedios anuales para las estaciones de monitoreo presentadas en la Figura 3.7 son: centro 84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sureste 89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y para la suroeste 104  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Posteriormente se graficaron las consultas otorgadas (por cada mil derechohabientes) vs. la concentración de PM<sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), obteniendo de ahí la gráfica de dispersión y la correlación de los datos (Figura 3.9.).

<sup>1</sup> Todas las unidades médicas son de primer nivel.



**Figura 3.9.** Correlación de enfermedades respiratorias agudas con niveles de concentración de PM<sub>10</sub> para primero, segundo y tercer periodo.

---

---

La correlación para el primer período fue de  $r= 0.2$ , mientras que para el segundo y tercer periodo fueron de  $r= -0.038$  y  $r= -0.42$  respectivamente. De esta información se puede deducir lo siguiente: para el primer periodo a medida de que aumenta la contaminación por  $PM_{10}$  aumentan las visitas a hospitales, y para los dos periodos restantes como la correlación es negativa, sería el caso contrario, es decir, que cuando disminuyen los niveles de contaminación por  $PM_{10}$  aumentan las visitas a hospitales, lo cual no sería lógico. Sin embargo, esto podría ser atribuido a varios factores: por ejemplo, a) que los pacientes con infecciones respiratorias no acudan al médico y opten por autorecetarse, b) otra causa es que no vayan a consulta al IMSS sino que prefieran por ir con un médico particular, c) simplemente hagan caso omiso a las molestias respiratorias, entre otras.

Por otro lado también es preciso decir, que esta correlación para el caso de una exposición crónica a  $PM_{10}$ , no ayuda a determinar si hay o no una correlación entre las enfermedades y la contaminación, ya que el período de estudio es muy corto y es sólo representativo para esas unidades médicas.

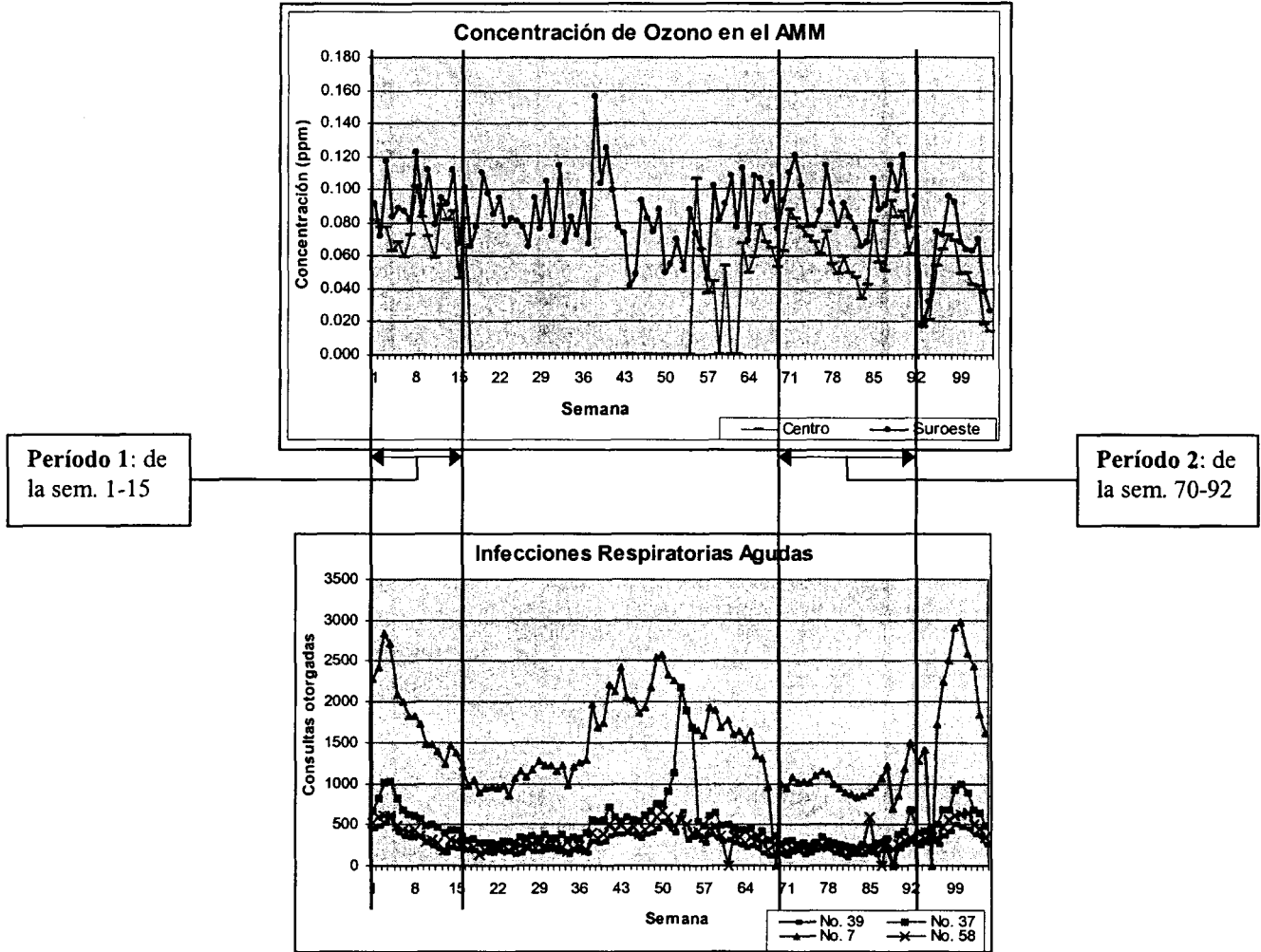
En la Figura 3.9 puede observarse que en los tres períodos se identifican las zonas de mayor y menor contaminación, por ejemplo, las unidades médicas No. 37 y 39 se localizan en una zona de menor contaminación (centro), pueden compararse con las unidades No. 27 y 58 que se encuentran en la zona suroeste que presenta mayor contaminación.

- **Análisis de periodos de contaminación elevada para  $O_3$**

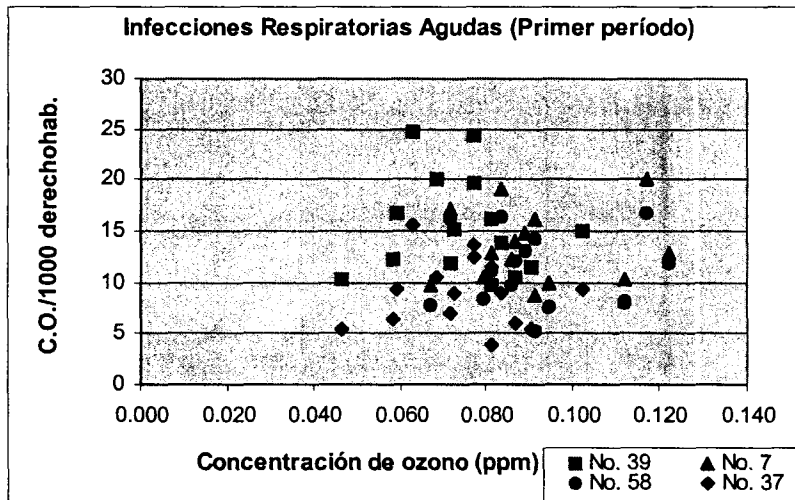
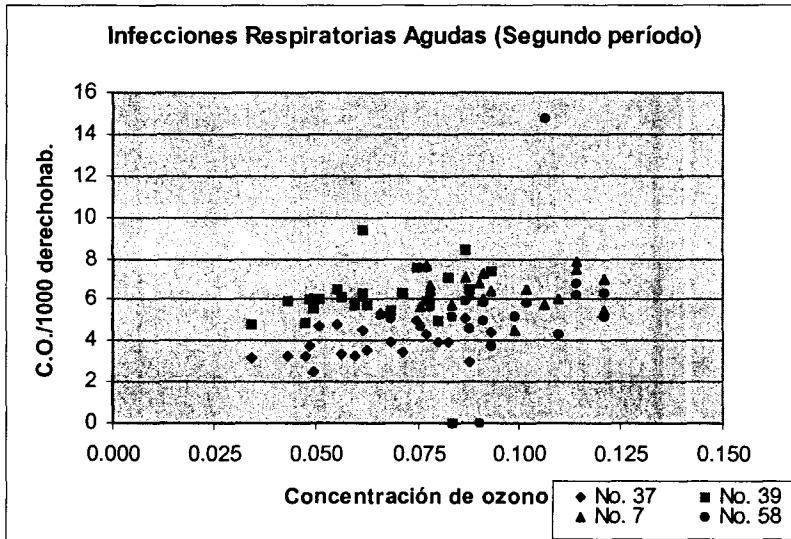
Para determinar la correlación en ciertos periodos para el ozono, se siguió el mismo procedimiento, primero se seleccionaron periodos donde las concentraciones de ozono aumentaron y se tomaron los valores correspondientes para las unidades médicas antes seleccionadas. Así de la Figura 3.10, se tomaron 2 periodos. El primero corresponde de la semana 1 – 15 y el segundo de la semana 70 – 92.

Las consultas otorgadas por cada 1000 derechohabientes y sus respectivos valores de concentración de ozono, se graficaron para cada periodo. De la Figura 3.11 tenemos que para el primer periodo la correlación positiva de  $r=0.2$  y para el segundo periodo de  $r=0.3$ , es decir, que a

medida que aumenta la concentración de ozono en estas zonas, aumentan las consultas otorgadas por infecciones respiratorias agudas.



**Figura 3.10.** Comparativo de los niveles de contaminación de ozono con enfermedades respiratorias en el AMM.



**Figura 3.11.** Correlación de enfermedades respiratorias agudas con niveles de concentración de ozono para primero y segundo período.

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS CONSULTAS OTORGADAS POR INFECCIONES RESPIRATORIAS Y NEUMONÍA EN EL AMM

En este Capítulo se llevó a cabo el análisis estadístico, mediante el cual se determinó la relación entre el número de consultas que fueron otorgadas por infecciones respiratorias y neumonía, en las clínicas y hospitales del IMSS y los niveles de contaminación de ozono y partículas (PM<sub>10</sub>) en el AMM, durante los años 1999-2000.

La información que se obtuvo del análisis estadístico es:

#### 1. Mediante el Análisis de Covarianza:

- Se determinó si hay efecto de las variables independientes (año, época, hospital o clínica, grupo de edad, y contaminantes) sobre las variables dependientes (enfermedades respiratorias agudas y neumonía), a la vez que se determinó si el efecto es altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ), sólo significativo ( $P \leq 0.05$ ) o no significativo ( $P > 0.05$ ). Mientras que para la cuantificación de la magnitud del mismo (cuando existía) se utilizaron las medias de mínimos cuadrados, para los factores y los coeficientes de regresión parcial<sup>1</sup>, para las covariables.
- Por medio de la correlación se determinó la asociación positiva o negativa entre las variables.

La mayor parte de los estudios sobre asociaciones entre la exposición a contaminantes atmosféricos y el número de consultas por enfermedades respiratorias, se han realizado en lugares que presentan concentraciones de contaminación elevadas [Arribas, *et.al.*, 2001; Castillejos, 1999; Golberg, 2001; Lascasaña, *et.al.*, 1999; Spix, 1998]. Para ello se han empleado diversas metodologías las cuales incluyen: modelos de regresión de Poisson [Arribas, *et.al.*, 2001, Hernández, *et.al.* 2000], series de tiempo [Sánchez y Morel, 1992] regresión lineal y no lineal [Correa, *et.al.*, 2000], así como metanálisis [Rosales, *et.al.* 2001] entre otras. Sin embargo, los resultados de los diversos estudios epidemiológicos no siempre son concordantes, debido a factores de incertidumbre (error experimental) y lógicamente a las diferencias epidemiológicas entre los Universos de muestreo. De

los estudios más recientes hechos en México [Castillejos,1999], se encontró que durante los meses con mayor contaminación fallecen los pacientes con padecimientos crónicos, mientras que en los días con contaminación más baja, predominan las muertes de pacientes con evoluciones menos largas. Asimismo, estudios realizados en Cd. Juárez, Chihuahua [Hernández, *et.al.*, 2000], estimaron que un incremento en  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el promedio de 24 horas de exposición a  $\text{PM}_{10}$ , se relacionó con un incremento de 4.97% en las consultas por asma con un retraso de cinco días y con un incremento de 9% cuando se consideró a la exposición acumulada de cinco días anteriores. Es decir, se encontraron asociaciones positivas entre las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  y el número de consultas por asma y enfermedades respiratorias, aun cuando los niveles alcanzados no excedían las normas ambientales mexicanas. Caso muy similar es el reportado [Arribas, *et.al.*, 2001] para Zaragoza, España, donde detectaron, a pesar de los niveles bajos de contaminación existentes, efectos significativos de incrementos en la concentración de los contaminantes atmosféricos sobre la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, especialmente en los meses cálidos. Otro estudio realizado para la Cd. de México [Téllez, *et.al.*,2000], mostró 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 por 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.

En otros países [Sánchez y Morel, 1992], observaron que en Santiago de Chile (ciudad muy contaminada) al reducir los niveles de contaminación al 50% (que es lo que se hubiera requerido el año 1988 para alcanzar la norma anual de  $\text{PM}_{10}$ ), lograrían un beneficio total, estimado como los costos evitados por la reducción del contaminante de \$2.511 millones expresados en pesos de diciembre de 1992. En contraste, a la fecha para el AMM, no existe referencia de estudios epidemiológicos que analicen los efectos de la contaminación atmosférica sobre las consultas por enfermedades respiratorias, es por ello, que se plantea que este trabajo sea un punto de partida, ya que la contaminación del aire es cada día más evidente en la salud de los habitantes.

- **Justificación del análisis de covarianza**

Con la finalidad de elegir el tipo de análisis a utilizar, primero se examinaron los factores de variación. Debido a que todos son variables discretas (es decir, toman sólo valores discontinuos, por

---

<sup>1</sup> La regresión es parcial debido a que hay un valor para cada nivel de factor, es decir, el valor del coeficiente de regresión por ozono, no es igual en cada uno de los grupos de edad, lo mismo sucede con las partículas.



ejemplo: las épocas del año, solo pueden ser fría o cálida, etc.), y los contaminantes son variables continuas y cuantitativas (se miden en I.M.E.C.A.S. pero pueden tomar cualquier valor) es decir, son continuas en oposición a las discretas. El modelo que se utilizó es de tipo mixto, o sea que tiene factores fijos y covariables (ozono y partículas). Por lo tanto es apropiado usar para el análisis de datos: El Análisis de Covarianza<sup>m</sup>.

El análisis de covarianza, hace uso de conceptos tanto de análisis de varianza como de la regresión, pero de manera simultánea. Los usos más importantes del análisis de covarianza son:

- Controlar el error y aumentar la precisión.
- Ajustar las medias de la variable dependiente a las diferencias en conjuntos de valores de variables independientes correspondientes.
- La partición de una covarianza total o suma de productos cruzados en componentes.
- Ayudar en la interpretación de datos, especialmente en lo concerniente a la naturaleza de los efectos, como en nuestro caso.
- Estimar datos faltantes (para este caso en particular, ayudó en la estimación de datos faltantes de monitoreo de  $O_3$  y  $PM_{10}$ ).

Es por ello, que el empleo de esta técnica resulta útil para explicar los efectos del año, la clínica, época, los grupos de edad, y sus interacciones, sobre las enfermedades respiratorias. Además de que el análisis también permite verificar si el  $O_3$  y las  $PM_{10}$  (covariables) afectan el número de casos de enfermedades de manera significativa, pero su efecto se cuantifica por los coeficientes parciales de regresión.

Por tanto, si la elección para analizar la información hubiera sido únicamente realizar el análisis de correlación, éste solo habría incluido al  $O_3$  y  $PM_{10}$  contra las consultas otorgadas, pero entonces, ¿cómo se sabría si los efectos de los factores son o no importantes?, ya que según la información explicada anteriormente en la sección 3.1, es evidente que los niveles de contaminación no son iguales en las zonas del AMM, ni tampoco en los diferentes meses del año. Estas son las razones por las que se empleó este análisis de covarianza y el modelo matemático que se presenta a continuación.

---

<sup>m</sup> La explicación del algoritmo que se emplea en la covarianza se localiza en el anexo 3.

#### 4.1 DEFINICION Y APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO A EL AMM.

La hipótesis que se comprueba es que “ Las consultas otorgadas semanalmente de infecciones respiratorias agudas y neumonía, varían de acuerdo al año, época del año, hospital o clínica, grupo de edad y sus interacciones de primer orden o sencillas, así como la correlación y su magnitud con las variables de contaminación atmosférica” y se presenta formulada matemáticamente en la Ecuación 4.1.

##### **MODELO MATEMATICO GENERAL**

$$Y_{ijkl} = M + A_i + E_j + H_K + G_l + (E * G) + B_1 X_1 + E_{ijkl}; \quad \text{Ec. 4.1}$$

dónde:

$Y_{ijkl}$ : Es una observación de cada las variables dependientes, consultas registradas semanalmente en el año de estudio  $i$ , durante la época del año  $j$ ; en el hospital o clínica  $k$ ; en el grupo de edad  $l$ .

$M$ : Media general o poblacional.

$A_i$ : Efecto del  $i$ -ésimo año de estudio, sobre las consultas registradas semanalmente. Con  $i = 1999$  y  $2000$ .

$E_j$ : Efecto de la  $j$ -ésima época del año, sobre las consultas registradas semanalmente. Con  $i =$  época fría o cálida.

$H_K$ : Efecto del  $k$ -ésimo hospital o clínica, sobre las consultas registradas semanalmente. Con  $K =$  número de la clínica, codificada numérica y progresivamente.

$G_l$ : Efecto del  $l$ -ésimo grupo de edad, sobre las consultas registradas semanalmente. Con  $l =$  grupo de edad según los criterios del IMSS.

$B_1 X_1$ : Estimador de los coeficientes de regresión parcial para los efectos lineales de  $PM_{10}$  y/o  $O_3 (X_1)$ , consideradas como covariables.

$E_{ijkl}$ : Error experimental asociado a cada observación con  $E_{ijk} \sim NID(0, \sigma^2)$ .

La información obtenida del IMSS y del INE, se capturó en una hoja electrónica de cálculo (software comercial) y posteriormente se compiló para su análisis en el Sistema SAS [SAS/STAT, 2000]. En total, se obtuvieron 26,000 observaciones, las cuales fueron codificadas para su análisis

---

(Cuadro 1). Los datos fueron sometidos a un análisis de covarianza, bajo los supuestos de la distribución Normal [Steel and Torrie, 1986]. Para ello, se empleó la Metodología de los Modelos Lineales Generalizados (GLM, por siglas en inglés) con diferente número de observaciones en las subclases [SAS/STAT, 2000].

Del modelo general (Ecuación 4.1), se derivaron modelos particulares con mezcla de factores y covariables ( $PM_{10}$  y  $O_3$ ), considerando todas las interacciones dobles para cada variable dependiente y se seleccionaron aquellos que explicaron mejor su variación<sup>n</sup> (máximo  $R^2$  y mínimo cuadrado medio del error, o residual) [Steel and Torrie, 1986].

De los modelos de análisis obtenidos se derivaron las medias de mínimos cuadrados (estos parámetros son las medias generales comunes –medias aritméticas- pero ajustadas y corregidas, por los efectos significativos en el modelo, por ejemplo; épocas, grupos de edad, o diferente tamaño de muestra debido a valores perdidos) y las diferencias entre ellas se compararon mediante la prueba LsMeans , incluida en el procedimiento GLM del SAS [SAS, 2000].

## 4.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES A ESTUDIAR EN EL AMM.

Desde finales de los ochentas e inicios de los noventa, se realizaron numerosos estudios epidemiológicos para determinar el impacto que la contaminación del aire tenía en la salud humana. Estas bases de datos se desarrollaron primero en los Estados Unidos y posteriormente en Europa y otras áreas. A partir de la búsqueda de información para el presente trabajo, se identificaron estudios que hubieran evaluado efectos en salud con la exposición a algún contaminante, y que hubiesen sido publicados hasta mayo del 2001.

En esencia, se identificó que en general se toma a el día como la unidad de análisis y se relaciona con la ocurrencia diaria de defunciones o ingresos a hospitales [Velasco,1996, Martínez, *et al.*,1997, Spix C.,1998, Castillejos,1999, Golberg, *et al* 2001, Téllez, *et.al.*,2000], consultas de asma, infecciones respiratorias altas y bajas, neumonía, cardiovasculares, así como parámetros de función pulmonar [Sánchez, *et.al* 1992, Téllez, *et.al.*, 1997, Hernández, *et.al.*, 2000, Arribas., *et.al.*, 2001] con la concentración promedio diaria de los contaminantes (bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno ,

ozono, partículas y/o plomo), a la vez que se considera cuidadosamente los factores de confusión tales como meteorológicos (estación, temperatura, humedad, velocidad del viento, entre otros), de ausentismo laboral, grupos de edad, etc. En su mayoría estos son estudios epidemiológicos que evalúan efectos de la exposición en periodos cortos, es decir, exposición aguda.

#### 4.2.1. Variables analizadas para el AMM

Los criterios para la selección de variables fueron principalmente la disponibilidad de información. En el caso de las variables independientes por ser dos de los contaminantes más importantes que se presentan en nuestro país y en otras ciudades de América Latina [Arribas, *et.al.*, 2001, Sánchez, *et.al.*, 1992, Téllez., *et.al.*, 1997, Hernández, *et.al.*, 2000], este análisis se enfocó en el O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>. Se incluyeron también variables tales como: Año y época del año, con el objeto de identificar alguna asociación de la contaminación y enfermedades con determinadas estaciones climáticas, así como la variable hospital, con la probabilidad de diferenciar zonas de alta y baja contaminación. Asimismo, se incluyó la variable grupo de edad para estudiar con más detalle cómo puede afectar la contaminación a determinados estratos de población y especialmente a determinadas poblaciones de riesgo en el AMM, como niños y ancianos (variable que ha sido considerada en numerosos estudios).

La descripción de cada variable independiente empleada en el análisis estadístico se muestra en la Tabla 4.1, mientras que las fuentes (INE-IMSS) y los detalles de la información se explican ampliamente en el Capítulo 3. Las variables independientes fueron designadas como (X<sub>i</sub>).

---

<sup>a</sup> Los diferentes modelos se compararon por medio de R<sup>2</sup> y el mínimo cuadrado medio del error. Esta cantidad sólo indica qué proporción de la variación total en la respuesta se explica con el modelo ajustado. En este trabajo se reportaron sólo aquellos modelos que explicaron mejor el fenómeno

**Tabla 4.1** Definición de variables independientes ( $X_i$ )

Literal	Variable	Descripción
A	Año	Agrupar el tiempo de estudio. Toma 2 valores: 1999 y 2000.
E	Epoca del Año	4, según el año de estudio. 1: Epoca fría: correspondiente a los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre (1999). 2: Epoca cálida: correspondiente a los meses de marzo a octubre (1999). 3: Epoca fría: integró los meses de enero a marzo y de octubre a diciembre (2000). 4: Epoca cálida: abarca los meses de abril a septiembre (2000). Nota: los criterios para seleccionar cada una de ellas, se presentaron en la sección anterior.
O <sub>3</sub>	Ozono	Cuantificada como el promedio semanal de los niveles máximos diarios de ozono (expresada en puntos IMECA). Esta variable toma los valores de ozono para cada estación de monitoreo, Tabla Anexo No.1.
PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	Cuantificada como el promedio semanal de los niveles máximos diarios de partículas menores a 10 micras (expresada en puntos IMECA). Esta variable toma los valores de ozono para cada estación de monitoreo, Tabla Anexo No.1.
H	Hospital	Toma el número del hospital o clínica de donde se obtienen los casos registrados de enfermedades respiratorias y neumonías.
G	Grupo de edad	Se consideran por separados los grupos de edad para cada año. Sus valores son asignados del 1-8 para 1999: 1: Menores de 1 año. 2: 1-4 años. 3: 5-14 años. 4: 15-24 años. 5: 25-44 años. 6: 45-64 años. 7: Mayores de 65 años. 8: Total de casos. Para el año 2000 los valores son: 1: Menores de 1 año. 2: 1-4 años. 9: 5-9 años. 10: 10-14 años. 11: 15-19 años. 12: 20-24 años. 13: 25-44 años. 14: 45-49 años. 15: 50-59 años. 16: 60-64 años. 17: Mayores de 65. 18: Total de casos.

En la determinación de las variables dependientes se hizo el siguiente planteamiento. El ozono y las partículas (O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>), por ser contaminantes del aire, cuya vía de entrada al organismo es la inhalatoria, es de esperarse que sus principales efectos sean en las vías respiratorias. Así los efectos más comúnmente reportados en la salud por exposición a la contaminación del aire son: en vías respiratorias altas y bajas, neumonías, asma y causas cardiovasculares. A este respecto, por ejemplo [Téllez, et.al.,2000], los padecimientos respiratorios se clasifican en dos grupos: infecciones

o variable.

respiratorias altas (IRA) y bajas (IRB). Para nuestro caso particular, se optó por incluir como variables dependientes únicamente el las consultas otorgadas para el grupo de Infecciones Respiratorias Altas (constituido según la Clasificación Internacional de Enfermedades por: bronquitis y bronquiolitis aguda; faringitis, amigdalitis y laringitis; infecciones agudas respiratorias de localización múltiple; rinofaringitis aguda y sinusitis aguda) y, neumonía. La descripción de las variables dependientes usadas en el análisis se presentan en la Tabla 4.2, mientras que la descripción de la fuente de información (IMSS) se detalla en el Capítulo 3. Las variables dependientes son designadas como ( $Y_i$ ).

**Tabla 4.2** Definición de variables dependientes ( $Y_i$ ).

<b>Literal</b>	<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
BR	Bronquitis y bronquiolitis aguda	Número total por semana de casos registrados de bronquitis y bronquiolitis aguda.
FA	Faringitis, amigdalitis y laringitis.	Número total por semana de casos de faringitis, amigdalitis y laringitis
IRS	Infecciones agudas respiratorias de localización múltiple	Número total de casos por semana de infecciones respiratorias agudas de localización múltiple
R	Rinofaringitis aguda.	Número total de casos por semana de rinofaringitis aguda.
SA	Sinusitis aguda.	Número total de casos por semana de sinusitis aguda.
N	Neumonía.	Número total de casos por semana de neumonías
TER	Total	Número total de casos por semana de todas las anteriores, excluyendo neumonías.

### 4.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COVARIANZA PARA EL AMM.

Durante el periodo de estudio se registraron un total de 1,643,636 consultas por los padecimientos estudiados en las unidades médicas (hospitales y clínicas) del IMSS en el AMM. De las cuales 1,627,852 consultas otorgadas corresponden a infecciones respiratorias agudas (IRA) y el resto (15,784) a consultas otorgadas por neumonía. Los índices descriptivos de las mismas se muestran en las Figuras 1.2 y 1.3. Mientras que la distribución de las observaciones (datos) se localizan en el Anexo No. 3.

### 4.3.1 PROMEDIOS GENERALES DE CONSULTAS OTORGADAS Y CONTAMINANTES EN EL AMM.

La Tabla 4.3 muestra los promedios generales para el número de consultas otorgadas semanalmente en las diferentes enfermedades respiratorias en el AMM. Como se puede observar, sobresalen 2 cuestiones fundamentales: 1) en todos los casos se registró una gran variación en la presentación de las distintas patologías respiratorias y 2) el orden por frecuencia de presentación fue como sigue:

Faringitis, amigdalitis y laringitis, (**FA**); Infecciones agudas respiratorias de localización múltiple (**IRS**); Rinofaringitis aguda (**R**); Bronquitis y bronqueolítis aguda (**BR**); Sinusitis aguda (**SA**); Neumonías (**N**); Total de casos por semana de todas las anteriores, excluyendo neumonías (**TER**), para un promedio general de 122.3 casos por semana.

Durante el periodo de estudio el promedio para  $PM_{10}$  fue de  $87.75 \pm 43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (58.5  $\pm$  29 puntos IMECA) observando también una variación superior al 40%. En contraste, las mediciones de  $O_3$  fueron más bien bajas con un promedio de 0.075 ppm (68.3 puntos IMECA) y una variación del 18%.

**Tabla 4.3.** Promedios generales para las variables en estudio.

VARIABLES	PROMEDIO	S	RANGO
<b>Enfermedad Respiratoria</b>			
Faringitis, amigdalitis y laringitis, ( <b>FA</b> )	53.13	108.15	1114
Infecciones agudas respiratorias de localización múltiple ( <b>IRS</b> )	40.80	93.96	1253
Rinofaringitis aguda ( <b>R</b> )	20.27	45.15	993
Bronquitis y bronqueolítis aguda ( <b>BR</b> )	7.19	18.89	912
Sinusitis aguda ( <b>SA</b> )	0.54	8.61	908
Total de casos por semana de todas las anteriores, excluyendo neumonías ( <b>TER</b> )	122.32	260.60	3511
Neumonías ( <b>N</b> )	0.95	3.25	84
<b>Contaminante</b>			
Concentración de Ozono ( $O_3$ )	68.25	12.26	51
Concentración de Partículas $PM_{10}$ ( $PM_{10}$ )	58.54	29.05	162

S: Desviación estándar.

#### 4.4. EFECTOS DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES SOBRE LAS CONSULTAS OTORGADAS EN EL AMM.

- **Efecto del Año.**

Los resultados del análisis estadístico mostraron que los efectos del año sobre las consultas otorgadas de infecciones respiratorias agudas y neumonía, no fueron significativos ( $P > 0.05$ ) sobre el número de casos estudiados (Tabla No. 1 del Anexo). Lo anterior expresa que entre 1999 y 2000 no hubo incrementos o reducciones estadísticamente significativas en el número de casos de las distintas enfermedades evaluadas.

- **Efectos de Época, de hospital y de grupo de edad dentro de Época.**

Los resultados de la Tabla 4.4, muestran los cuadrados medios<sup>o</sup> del análisis de varianza para cada una de uno de los factores de variación, en este caso son las épocas, hospitales, grupos de edad, grupos dentro de época e incluye a la covariable  $PM_{10}$  dentro de grupo. Ahora bien, la partición de la varianza se hizo para cada una de las enfermedades (variables dependientes) causada por los factores antes mencionados. Los valores de la tabla están expresados en unidades de varianza y su importancia radica en la significancia ( $P < 0.01$  y  $P < 0.05$ ), ya que de aquí parte el resto del estudio.

Los efectos de cada uno de los factores de variación, contribuyeron notablemente ( $P < 0.01$  y  $P < 0.05$ ) a la variación en el número de casos de las diversas enfermedades estudiadas. La excepción fue para Sinusitis Aguda (NS), en grupos dentro de época, cuyo efecto fue independiente del número de casos reportados semanalmente. Igualmente, el efecto de  $O_3$ , no contó para la variación de los casos de las patologías estudiadas, es decir fue independiente (de aquí que no se encuentre en la tabla).

Los factores antes mencionados, en conjunto, contribuyeron a explicar mejor la variación en la incidencia de las patologías evaluadas; el modelo matemático (Ecuación 4.1) logró explicar desde el 33% hasta el 61% de su variación ( $R^2$ ) lo cual se considera de moderado a alto. La excepción fue

---

<sup>o</sup> Los cuadrados medios son un componente de la fórmula de varianza, y es la sumatoria de las observaciones, elevadas al cuadrado y dividida entre el tamaño de muestra para el factor entre sus grados de libertad. Este valor es expresado en unidades de varianza y representa el estimador de la varianza para cada factor.



---

para Sinusitis Aguda (SA) en cuyo caso el  $R^2$  fue tan sólo del 3.4% (Tabla 4.4). La cuantificación de los efectos que resultaron significativos (Tabla 4.4) se muestran a detalle en las tablas siguientes, desglosando cada efecto en particular.

▪ **Efecto de la Época del año (Fría/Cálida)**

Tomando como referencia la significancia ( $P < 0.01$ ) que tuvieron las enfermedades en la fuente de variación Epocas (E), en la tabla anterior, se presenta ahora el efecto desglosado. En la Tabla 4.5 se muestran las medias de cuadrados mínimos<sup>p</sup>  $\pm$  error estándar, para las variables dependientes por efectos de épocas. Como se observa, en todos las patologías evaluadas, el número de casos fue significativamente mayor durante las épocas frías, respecto de las cálidas; en términos de ocurrencia y de acuerdo a las medias de cuadrados mínimos, los mayores promedios fueron en las épocas frías para: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis (FA:  $81.08 \pm 1.40A$ ), Infecciones Agudas Respiratorias de Localización Superior (IRS:  $68.52 \pm 1.13A$ ) y Rinofaringitis Aguda (R:  $31.22 \pm .58A$ ). Nótese que la incidencia fue mayor en el año 1999 en comparación con el año 2000, para ambas épocas.

Para las épocas cálidas aunque se mantuvo la tendencia, las medias de mínimos cuadrados (número de casos) fueron mucho menores. Así tenemos que los tres grupos de enfermedades que más contribuyeron a la variación fueron; Faringitis, Amigdalitis y Laringitis (FA:  $55.25 \pm 1.62BC$ ), Infecciones Agudas Respiratorias de Localización Superior (IRS:  $32.72 \pm 1.32B$ ) y Rinofaringitis Aguda (R:  $20.01 \pm .67A$ ). Conviene resaltar que los errores estándar son muy pequeños, lo cual indica la precisión y exactitud de las medias obtenidas.

Estos resultados establecen claramente, que la temperatura ambiental es un importante factor de riesgo para la presentación de enfermedades respiratorias y también permite a las instituciones de salud, prever tanto la demanda de atención y de recursos de terapia, de personal, así como la definición de políticas de prevención y su difusión a la población en general.

Adicionalmente, se puede observar que los promedios por época para los contaminantes, además de estar por debajo de los niveles considerados como críticos (100 puntos IMECA), no

variaron significativamente entre épocas, lo cual corrobora que es la época el factor importante de riesgo y, que a pesar de los bajos niveles de contaminantes atmosféricos, la prevalencia de patologías respiratorias sigue una tendencia estacional o de época, claramente definida para el AMM.

Esto indica que las enfermedades respiratorias estudiadas se correlacionan notablemente con la época del año, es decir, en las épocas frías siempre aumentará el número de consultas. Lo anterior concuerda con los estudios realizados en la Ciudad de México [Téllez, *et.al.*, 2000], en donde se detecta una interacción de las infecciones respiratorias altas (IRA) y bajas (IRB) con los periodos invernal/cálido. Ya que en la época invernal, un incremento de 0.05 ppm en el máximo promedio horario de ozono conduciría al día siguiente a un aumento del 9.9% en las consultas de urgencias por infecciones respiratorias altas, pudiendo incrementarse hasta en un 30% si el incremento se diera en cinco días consecutivos como promedio. Mientras que [Arribas, *et.al.*,2001] otros estudios muestran para la mortalidad por enfermedades del aparato circulatorio, una débil asociación en el semestre cálido para la contaminación por partículas y en el semestre frío para la contaminación por dióxido de nitrógeno.

---

<sup>p</sup> Estos parámetros son las medias generales comunes (medias aritméticas), pero ajustadas o corregidas por efectos significativos en el modelo (por ejemplo, época, grupo de edad, o diferente tamaño de muestra debido a valores perdidos).

**Tabla 4.4.** Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables en estudio.

Fuente de Variación.	G.L.	BR.	FA	IRS	R	SA	TER	N
épocas(E)	3	38425.97**	674762.48**	1463709.41**	128659.96**	239.21*	6733760.3**	623.48**
Hospitales (H)	24	30884.91**	1657951.13**	947965.11**	271963.72**	1841.22**	8735858.2**	2176.86**
Grupos (G)	17	21018.40**	994751.11**	524188.18**	153883.56**	448.40**	5137646.6**	186.15**
G (E)	19	10979.70**	163956.85**	329004.01**	29673.47**	46.87NS	1600621.7**	108.65**
Covariable:								
PM <sub>10</sub> (G)	18	2789.36**	63570.98**	63593.37**	20378.94**	231.20**	585129.4**	141.97**
Residual	24173	168.387	4433.7	3489.5	903.44	76.73	26977.9	8.17
R <sup>2</sup>		0.47	0.61	0.55	0.54	0.034	0.59	0.33

\*: P<0.05, \*\*: P<0.01, NS: No Significativa

G.L: Grados de libertad. ,BR: Bronquitis y Bronqueolitis aguda, FA: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis, IRS: Infecciones Agudas Respiratorias de localización superior, R: Rinofaringitis Aguda, , SA: Sinusitis aguda, TER: Total de enfermedades respiratorias excluyendo las neumonías, N: Neumonías, PP: Conc. de PM<sub>10</sub>, y O: Conc. de ozono.

**Tabla 4.5** Medias de cuadrados mínimos (e.e) para las variables dependientes por efectos de épocas.

EPOCAS	VARIABLES DEPENDIENTES								
	BR	FA	IRS	R	SA	TER	N	Z	PP
1999:									
FRIA	11.53±.24A	81.08±1.40A	68.52±1.13A	31.22±.58A	0.645±.11 <sup>a</sup>	194.81±3.3A	1.63±.04A	68.70±.61A	58.47±.37A
CALIDA	6.21±.28B	55.25±1.62BC	32.72±1.32B	20.01±.67B	0.427±.13AB	115.31±3.9BC	0.94±.05BB	67.5±.79A	58.89±.43A
2000:									
FRIA	7.69±.19C	48.02±1.13C	40.83±0.93C	18.90±.47C	0.79±.09B	117.01±2.7C	0.91±.04CB	-	58.84±.31B
CALIDA	3.21±.23D	33.95±1.32D	18.15±1.08D	12.30±.54D	0.23±.10C	68.48±3.16DC	0.47±.04D	-	68.97±.36B

Epoca Fría 1999: Ene, Feb y Nov., Dic.

Epoca Cálida 1999: Mar. a Oct.

Epoca Fría 2000: Ene. A Mar y Oct a Dic.

Epoca Cálida 2000: Abr a Sep.

Literales distintas por columna son diferentes (P< 0.01)

\*BR: Bronquitis y Bronqueolitis aguda, FA: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis, IRS: Infecciones Agudas Respiratorias de localización superior, R: Rinofaringitis Aguda, , SA: Sinusitis aguda, TER: Total de enfermedades respiratorias excluyendo las neumonías, N: Neumonías, PP: Conc. de PM<sub>10</sub>, y Z: Conc. de ozono en puntos IMECA.

▪ **Efecto del Hospital**

Continuando con los resultados de la Tabla 4.4 tenemos ahora el efecto específico del Hospital. La Tabla 4.6 muestra las medias de cuadrados mínimos (e.e.) para las variables de acuerdo al hospital, donde se muestra que éstas fueron altamente significativas en todos los casos, con gran variación en cada una de las enfermedades registradas. Las clínicas que contribuyeron notablemente a la variación en el número de casos fueron las Unidades de Medicina Familiar No. 7, ubicada en la carretera a Saltillo y Av. San Pedro entre los municipios de San Pedro y Santa Catarina y la Unidad de Medicina Familiar No. 15. Ubicada en Ave. Ruiz Cortines y Cereso en Monterrey. Estas dos unidades sobresalen de las demás en el caso de enfermedades como Faringitis, Amigdalitis y Laringitis (FA:  $129.85 \pm 3.14A$  y  $127.88 \pm 3.14A$ ), Infecciones Agudas Respiratorias de Localización Superior (IRS:  $97.63 \pm 2.62A$  y  $89.94 \pm 3.14A$ ) y Rinofaringitis Aguda (R:  $50.17 \pm 1.31A$  y  $50.30 \pm 1.31A$ ). Ambas son unidades médicas de primer nivel, es decir, sólo prestan servicios de consulta externa. Mientras que las clínicas que registraron menor variación fueron el Hospital de Traumatología y Ortopedia No. 21 y el Hospital Regional de Especialidades No. 34 (Ubicadas en las avenidas Pino Suárez y Lincoln respectivamente, ambas localizadas en el municipio de Monterrey). Estos dos hospitales son de especialidades (tercer nivel).

Cabe destacar que al analizar la Tabla 4.6, los hospitales de especialidades son los que registraron las magnitudes más bajas. Esto hasta cierto punto es obvio, ya que en esos hospitales son atendidos únicamente los pacientes que han sido canalizados ahí por alguna otra enfermedad específica. Mientras que aquellos cuyas magnitudes son las más altas son unidades médicas de primer nivel en donde se otorgan consultas externas en general.

Conforme al modelo estadístico, posiblemente estas varianzas pueden ser atribuibles a la ubicación de la clínica (todos los hospitales de especialidades son concentradas en Monterrey, por lo que los pacientes cuyas enfermedades ameritan un hospital de ese tipo tienen que ser remitidos a ellos; en este caso no presentan una cercanía geográfica con la clínica y por tanto, las concentraciones de los contaminantes a la que están diariamente expuestos no es precisamente la que ha sido considerada en el estudio), así como a las propias características de cada hospital como pueden ser: capacidad instalada, población de usuarios o bien ubicación en zonas de riesgo endémico.

**Tabla 4.6.** Medias de cuadrados mínimos (e.e) para las variables dependientes de acuerdo al hospital

HOSPITAL	VARIABLES DEPENDIENTES						
	BR	FA	IRS	R	SA	TER	N
2	11.52±0.56CD	65.97±3.14EF	44.77±2.62DE	27.80±1.31C	0.90±0.26C	143.30±7.56EFG	1.70±0.10C
3	4.30±0.56GH	58.33±3.14FG	46.00±2.62D	15.60±1.31EF	0.08±0.26C	124.73±7.56GHI	0.78±0.10DE
5	5.02±0.56FG	61.08±3.14FG	45.20±2.62DE	21.23±1.31DE	1.82±0.26B	131.76±7.56EFGH	0.38±0.10FG
6	11.72±0.56A	60.75±3.14FG	48.17±2.62D	27.43±1.31C	0.08±0.26C	149.01±7.56E	5.02±0.10B
7	17.05±0.56A	129.85±3.14A	97.63±2.62A	50.17±1.31A	0.03±0.26C	302.12±7.56A	1.53±0.10C
15	17.84±0.56A	127.88±3.14A	89.94±2.62B	50.30±1.31A	0.185±0.26C	286.41±7.56A	1.40±0.10C
17	10.87±0.56CD	15.03±3.14J	6.29±2.62I	3.44±1.31A	0.011±0.26C	35.44±7.56K	5.59±0.10A
21	0.03±0.56I	0.05±3.14K	0.02±2.62I	0.03±1.31H	0.00±0.26C	0.142±7.56L	0.01±0.10I
22	0.00±0.56I	0.00±3.14K	-0.00±2.62I	0.00±1.31H	0.00±0.26C	0.00±7.56L	0.00±0.10I
23	0.25±0.56I	1.37±3.14K	1.16±2.62I	0.00±1.31H	0.009±0.26C	3.63±7.56L	0.02±0.10HI
25	0.07±0.56I	1.52±3.14K	0.19±2.62I	0.27±1.31H	0.048±0.26C	2.05±7.56L	0.15±0.10GHI
26	9.84±0.56D	95.63±3.14C	69.45±2.62C	37.60±1.31B	0.096±0.26C	213.28±7.56C	1.45±0.10C
27	4.26±0.56GH	25.07±3.14I	30.41±2.62FGH	15.83±1.31F	0.050±0.26C	76.45±7.56J	0.11±0.10GHI
28	7.81±0.44E	72.65±2.48E	62.56±2.62C	25.62±1.31C	0.38±0.26C	171.20±5.97D	0.72±0.08DE
29	6.57±0.56EF	53.62±3.14G	36.64±2.62F	24.43±1.31CD	0.034±0.26C	120.97±7.56GHI	0.28±0.10FGHI
30	7.67±0.56E	66.05±3.14EF	46.79±2.62D	25.51±1.31C	0.55±0.26C	146.51±7.56E	0.50±0.10EF
31	13.44±0.56B	117.42±3.14B	86.78±2.62B	40.25±1.31B	1.79±0.26B	263.79±7.56B	1.40±0.10C
32	14.35±0.56B	102.82±3.14C	82.76±2.62B	50.10±1.31A	6.58±0.26A	258.16±7.56B	1.04±0.10D
34	0.13±0.56I	0.15±3.14K	0.048±2.62I	0.09±1.31H	0.002±0.26C	0.44±7.56L	0.25±0.10FGHI
35	13.55±0.56B	85.89±3.14D	62.69±2.62C	25.57±1.31C	0.10±0.26C	188.28±7.56D	0.80±0.10DE
36	6.97±0.56E	52.55±3.14G	37.38±2.62EF	17.86±1.31H	0.38±0.26C	118.57±7.56L	0.37±0.10FGH
37	2.97±0.89H	27.52±3.14I	32.60±4.14FG	7.33±2.07EF	0.082±0.42C	72.73±11.95J	0.09±0.10GHI
38	0.47±0.56I	11.22±3.14J	7.43±2.62I	2.01±1.31EF	0.27±0.26C	21.07±7.56KL	0.03±0.10GHI
39	6.63±0.56EF	41.81±3.14H	27.04±2.62GH	18.37±1.31EF	0.15±0.26C	102.44±7.56I	0.13±0.10GHI
58	3.50±0.56GH	31.26±3.14I	23.01±2.62H	8.97±1.31G	0.01±0.26C	67.22±7.56J	0.14±0.10GHI

Literales distintas por columna son diferentes (P< 0.01)

\*BR: Bronquitis y Bronqueolitis aguda, FA: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis, IRS: Infecciones Agudas Respiratorias de localización superior, R: Rinofaringitis Aguda, SA: Sinusitis aguda, TER: Total de enfermedades respiratorias excluyendo las neumonías, N: Neumonías, PP: Conc. de PM<sub>10</sub>, y O: Conc. de ozono en puntos IMECA.

▪ Efectos en el Grupo de Edad dentro de Época

Partiendo de los efectos de Grupos (E) de la Tabla 4.4., tenemos que en cuanto a los efectos en el grupo de edad, también se encontró una gran variabilidad, así por ejemplo para Bronquitis y Bronqueolítis Aguda (BR) los pacientes cuyas edades oscilan entre menores de un año hasta 4 años (Grupos 1-2) resultaron ser más susceptibles, como se observa en las Figuras 4.2 y 4.3, donde se grafican las medias de los cuadrados mínimos para Bronquitis, bronquiolítis aguda para cada uno de los grupos de edad.

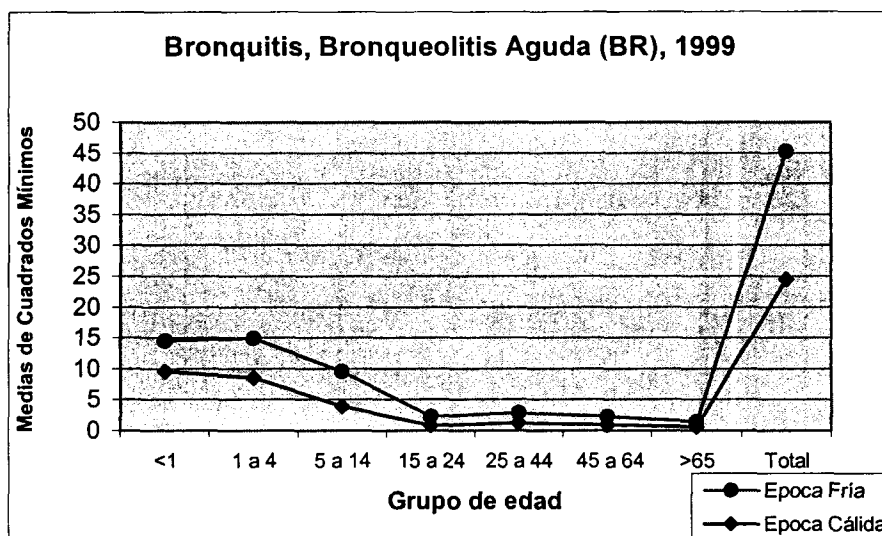


Figura 4.2 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente BR (bronquitis y Bronquiolítis aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.

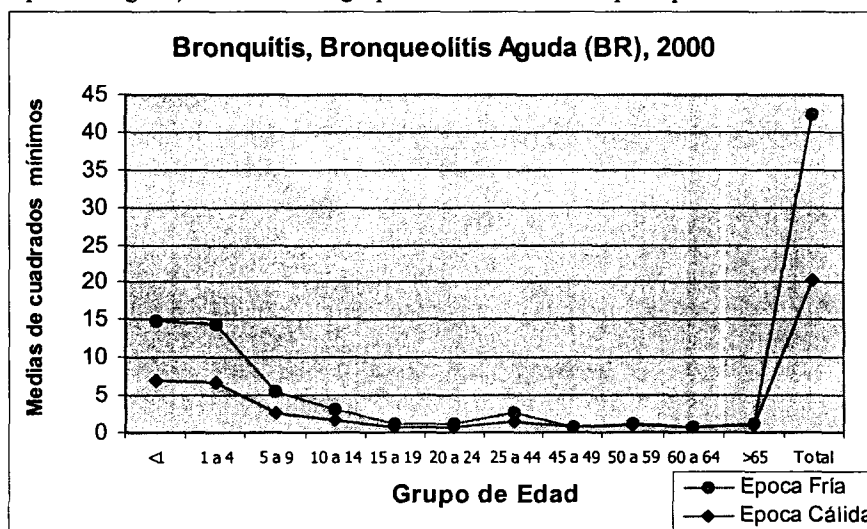
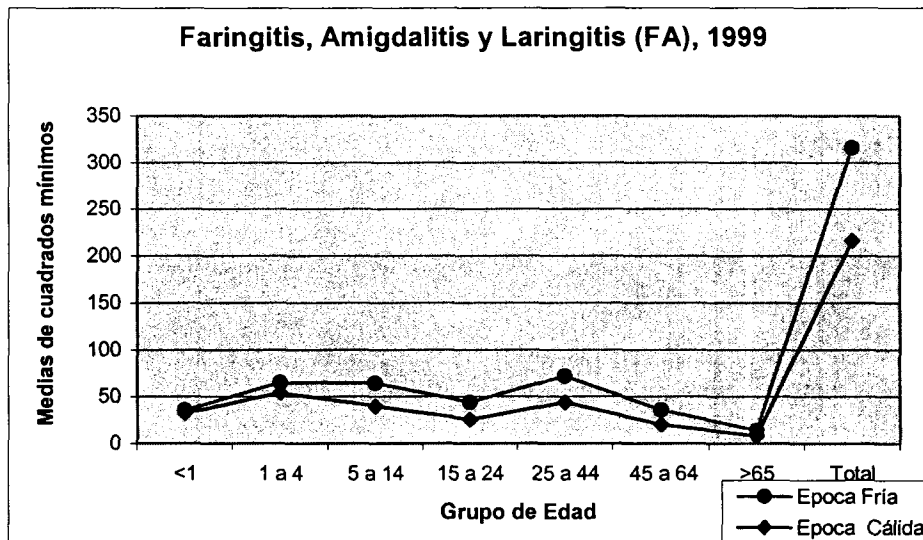


Figura 4.3 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente BR (bronquitis y bronquiolítis aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.

Así mismo, los promedios más altos fueron para los grupos (Grupo 8 en el año de 1999 y Grupo 18 en el año 2000), que corresponden al total de casos de enfermedades respiratorias excluyendo neumonías (TER) por lo que se infiere una relación entre la frecuencia de casos y la edad de los pacientes afectados como se observa en las Figuras 4.2 y 4.3.

En las Figuras 4.4 y 4.5 donde se graficaron las medias de mínimos cuadrados contra los grupos de edad, en ellas se aprecia que para Faringitis, Amigdalitis y Laringitis (FA) y con excepción de los totales de enfermedades respiratorias, en el resto de los grupos de edad no se observa una tendencia definida aunque si permite apreciar, que en este grupo de enfermedades (FA) hay una susceptibilidad en pacientes de cualquier edad (desde menores de un año hasta mayores de 65, grupos 1- 7). El grupo de edad que presenta ligeramente una mayor incidencia tanto en el año 1999 y 2000 es el que comprende las edades de 25 a 44 años de edad (grupo 5).



**Figura 4.4** Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente FA (Faringitis, Amigdalitis y Laringitis) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.

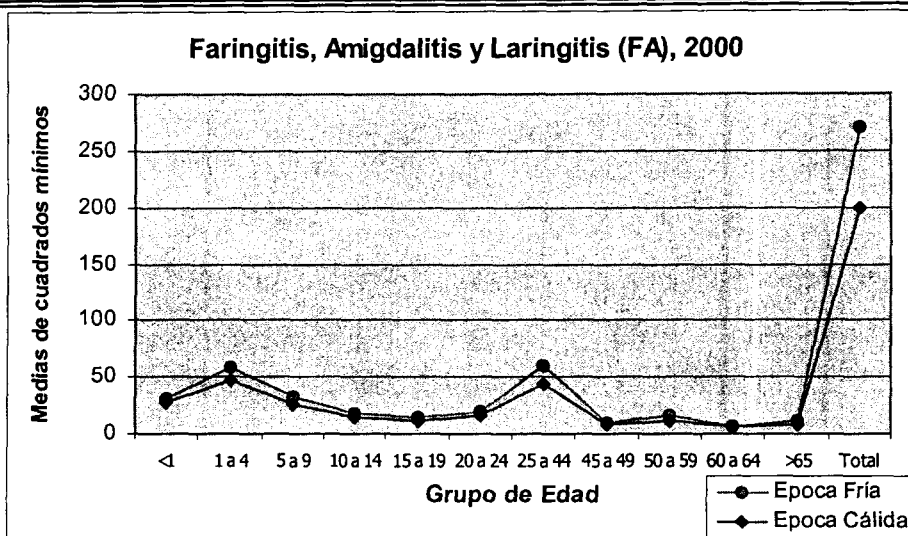


Figura 4.5 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente FA (Faringitis, Amigdalitis y Laringitis) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para el año 2000.

La tendencia de las Figuras anteriores se repite en el caso de las Infecciones Agudas Respiratorias de Localización Superior (IRS), Figuras 4.6 y 4.7. En donde al graficar la medias de los cuadrados mínimos contra los grupos de edad para esta patología, se aprecia que los grupos afectados coinciden para los dos años (de 1 a 4 años y de 25 a 44 años, que corresponden a los grupos 2 y 5 en el año 1999; y grupos 2 y 13 para el año 2000). Es decir, la frecuencia de los casos se presentó en pacientes de la misma edad.

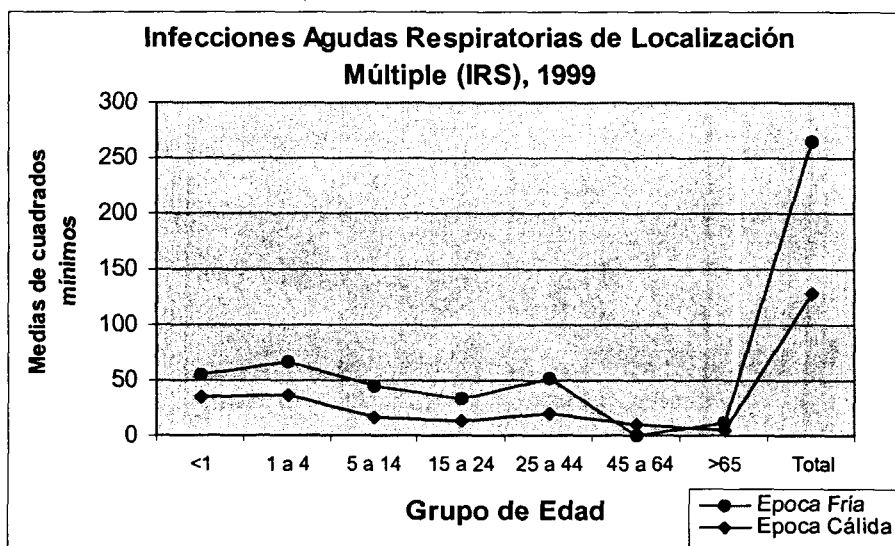


Figura 4.6 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente IRS (Infecciones Agudas Respiratorias de Localización Múltiple) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.



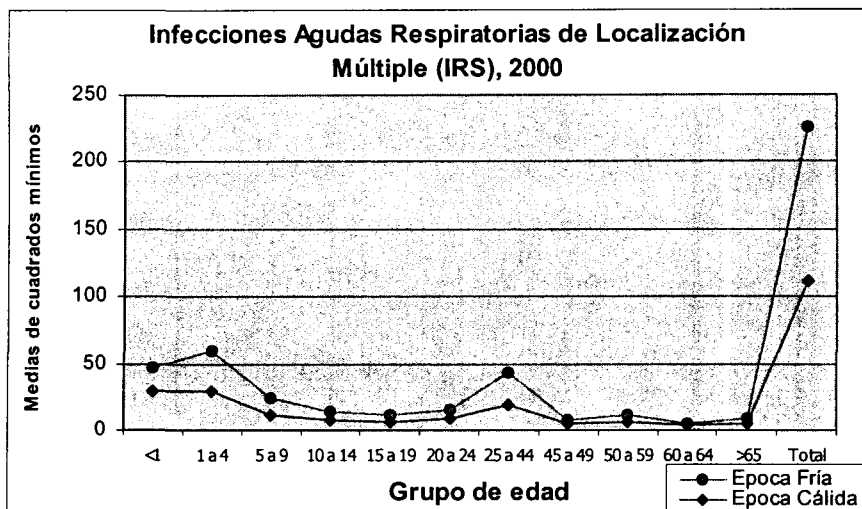


Figura 4.7 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente IRS (Infecciones Agudas Respiratorias de Localización Múltiple) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.

La Rinofaringitis Aguda (R) por su parte, también presenta el mismo comportamiento que las enfermedades anteriores. En la Figura 4.8, se graficó las medias de cuadrados mínimos contra los grupos de edad y en ella se observó que de los casos registrados en el AMM los grupos que sobresalen ligeramente para el año de 1999 son los que comprenden de 1 hasta 14 años y de 25 a 44 años (Grupos 1-3 y 5). En los datos que se muestran en la Figura 4.9, para el año 2000 el primer grupo de edad es reducido, ya que los pacientes afectados tienen edades que van desde 1 a 4 años de edad (Grupo 2).

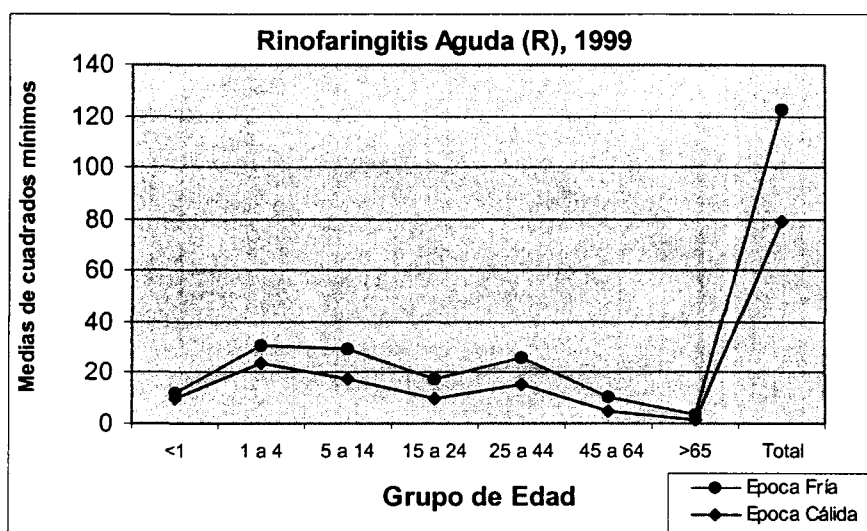


Figura 4.8 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente R (Rinofaringitis Aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para el año 1999.

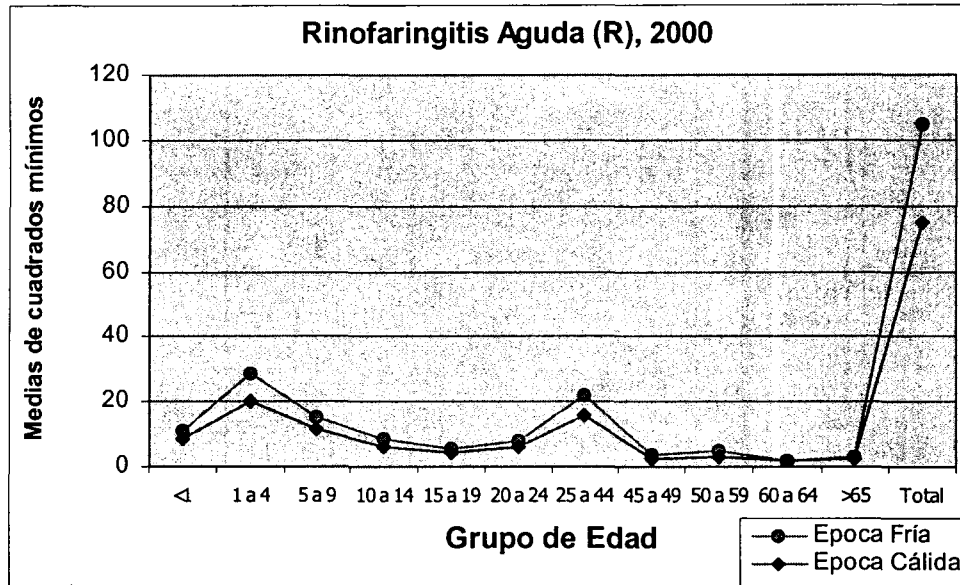


Figura 4.9 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente R (Rinofaringitis Aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.

Por lo que se refiere a Sinusitis aguda (SA) estos casos junto con los de neumonía fueron los menos frecuentes con promedios inferiores a un caso por semana. El grupo de edad que comprende a pacientes entre 25 – 44 años resultaron ser los mas susceptibles para ambos años y épocas del año, Figuras 4.10 –4.13, donde fueron graficados las medias de cuadrados mínimos contra los grupos de edad.

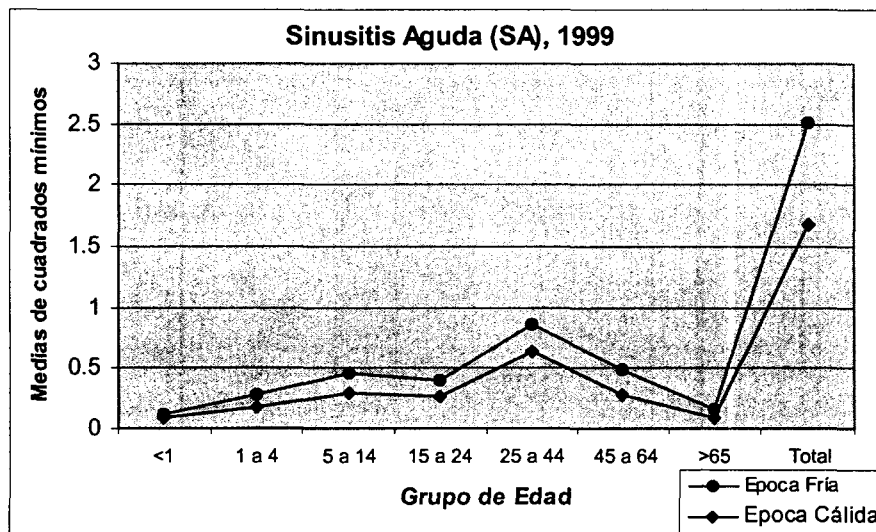


Figura 4.10 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente S (Sinusitis Aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.

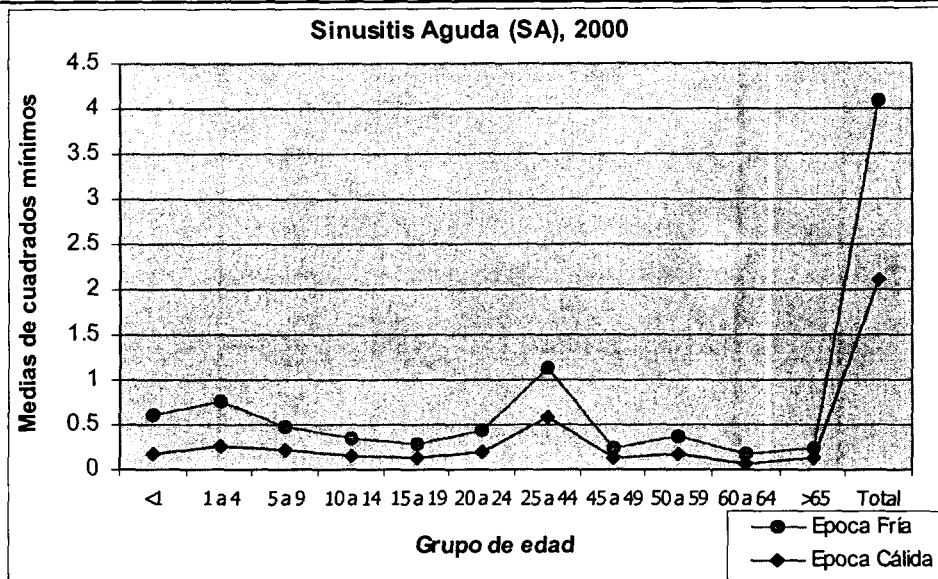


Figura 4.11 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente S (Sinusitis Aguda) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.

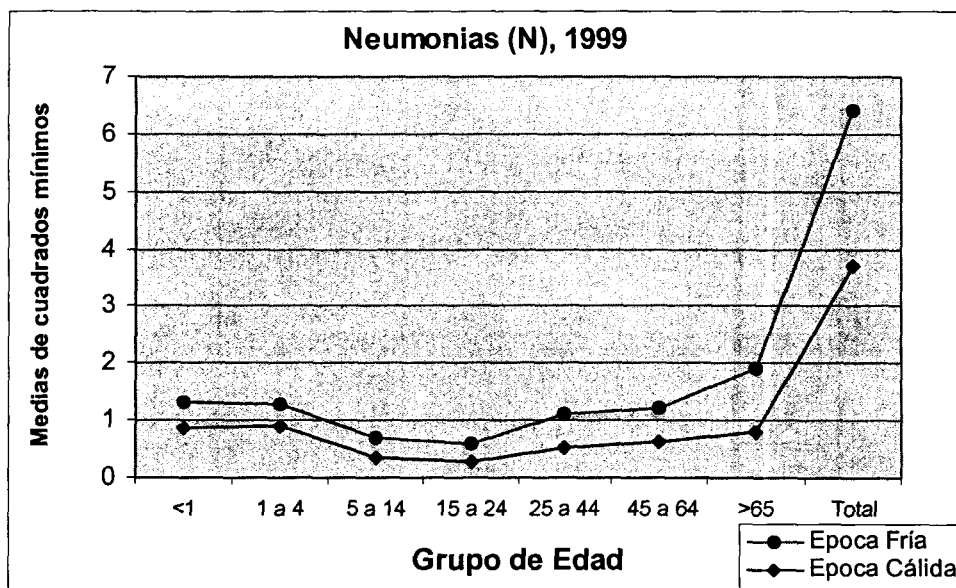
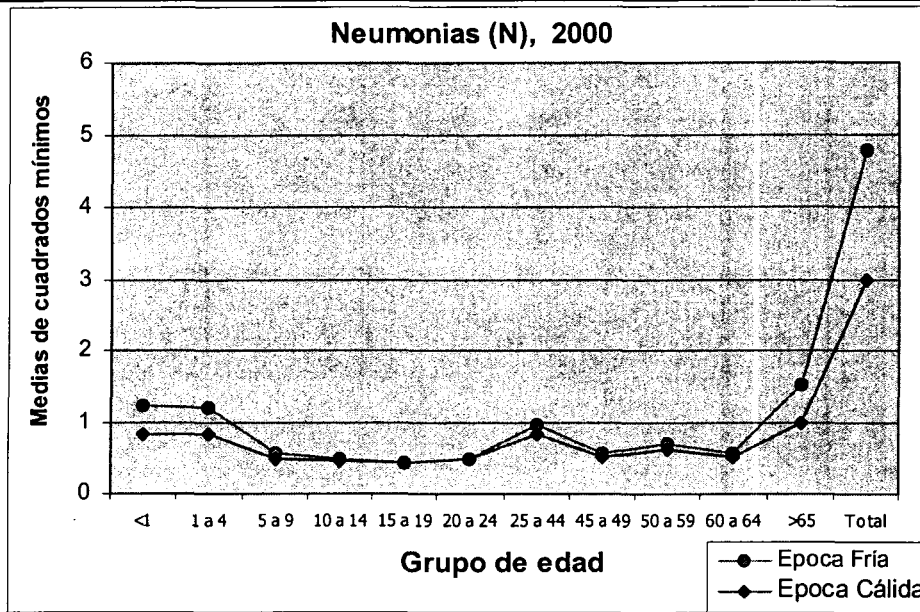


Figura 4.12 Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente N (Neumonía) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 1999.

En los casos de Neumonía (N) tanto en épocas frías como en cálidas, son mayormente afectados los menores de edad (1-4 años) y los ancianos (mayores de 65 años) como se puede apreciar en las Figuras 4.12 y 4.13, donde se graficaron las medias de cuadrados mínimos.



**Figura 4.13** Medias de mínimos cuadrados (E.E.) para la variable dependiente N (Neumonía) de acuerdo al grupo de edad dentro de época para 2000.

De lo anterior se tiene, que la interacción entre el grupo de edad y la época del año muestra que hay una relación entre la edad de los pacientes y las épocas frías dentro de cada año, donde resultaron más afectados los menores de hasta 9 años así como los mayores de 65 años. Esto se muestra en la Tabla 4.7 Así mismo aunque los promedios dentro de las épocas cálidas fueron inferiores con respecto a las épocas frías igualmente los grupos de mayor riesgo fueron los menores y los ancianos en todos los casos ver Figuras de la (4.2 - 4.13).

**Tabla 4.7** Medias de cuadrados mínimos (e.e.) para las variables dependientes de acuerdo al grupo dentro de época.

EPOCAS	VARIABLES DEPENDIENTES						
	BR	FA	IRS	R	SA	TER	N
1999: FRIA							
1	14.50±0.49	35.82±2.50	54.86±2.22	12.10±1.13	0.123±0.33	115.90±6.18	1.32±0.11
2	14.92±0.49	64.98±2.50	66.45±2.22	30.51±1.13	0.278±0.33	177.97±6.18	1.29±0.11
3	9.61±0.49	64.54±2.50	45.00±2.22	29.69±1.13	0.459±0.33	149.90±6.18	0.69±0.11
4	2.31±0.49	43.95±2.50	32.64±2.22	17.81±1.13	0.404±0.33	97.49±6.18	0.58±0.11
5	2.92±0.49	72.23±2.50	51.17±2.22	25.67±1.13	0.868±0.33	152.44±6.18	1.11±0.11
6	2.31±0.49	36.26±2.50		10.35±1.13	0.493±0.33	76.32±6.18	1.22±0.11
7	1.47±0.49	14.45±2.50	11.92±2.22	3.55±1.13	0.156±0.33	31.47±6.18	1.89±0.11
8	45.22±0.49	315.91±2.50	264.56±2.24	122.41±1.13	2.51±0.33	759.96±6.18	6.41±0.11
1999: CALIDA							
1	9.54±0.56	32.44±2.88	34.33±2.56	10.06±1.30	0.087±0.38	86.61±7.11	0.88±0.12
2	8.55±0.56	53.99±2.88	35.95±2.56	23.53±1.30	0.183±0.38	122.98±7.11	0.90±0.12
3	3.95±0.56	40.24±2.88	17.47±2.56	17.54±1.30	0.299±0.38	80.05±7.11	0.35±0.12
4	0.82±0.56	25.72±2.88	13.17±2.56	9.80±1.30	0.265±0.38	49.85±7.11	0.27±0.12
5	1.25±0.56	44.39±2.88	20.45±2.56	15.12±1.30	0.643±0.38	82.33±7.11	0.52±0.12
6	0.94±0.56	20.39±2.88	9.50±2.56	5.06±1.30	0.282±0.38	36.33±7.11	0.62±0.12
7	0.62±0.56	8.13±2.88	4.25±2.56	1.69±1.30	0.088±0.38	14.43±7.11	0.78±0.12
8	24.44±0.56	216.11±2.88	128.59±2.56	79.45±1.30	1.675±0.38	453.66±7.11	3.72±0.12

\*BR: Bronquitis y Bronqueolitis aguda, FA: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis, IRS: Infecciones Agudas Respiratorias de localización superior, R: Rinofaringitis Aguda, SA: Sinusitis aguda, TER: Total de enfermedades respiratorias excluyendo las neumonías, N: Neumonías, PP: PM<sub>10</sub>, y O: ozono.

Epoca Fria: Ene, Feb, Nov., y Dic.

Epoca Cálida: Mar a Oct.

**Tabla 4.7** Medias de cuadrados mínimos (e.e.) para las variables dependientes de acuerdo al grupo dentro de época.....continuación.

EPOCAS	VARIABLES DEPENDIENTES						
	BR	FA	IRS	R	SA	TER	N
2000: FRIA							
1	14.96±0.50	30.85±2.58	47.44±2.28	10.79±1.16	0.610±0.34	104.32±6.35	1.22±0.11
2	14.38±0.50	58.87±2.58	60.23±2.28	28.74±1.16	0.762±0.34	163.57±6.35	1.20±0.11
9	5.59±0.51	32.64±2.64	24.13±2.34	15.36±1.19	0.481±0.35	77.66±6.52	0.57±0.11
10	3.10±0.51	18.30±2.64	14.17±2.34	8.23±1.19	0.341±0.35	43.96±6.52	0.48±0.11
11	1.08±0.51	14.19±2.64	11.23±2.34	5.69±1.19	0.283±0.35	32.67±6.52	0.44±0.11
12	1.12±0.51	19.68±2.64	15.45±2.34	7.86±1.19	0.434±0.35	44.26±6.52	0.49±0.11
13	2.63±0.51	60.45±2.64	42.98±2.34	22.12±1.19	1.134±0.35	128.69±6.52	0.97±0.11
14	0.77±0.51	10.11±2.64	7.70±2.34	3.37±1.19	0.246±0.35	22.58±6.52	0.57±0.11
15	1.17±0.51	15.60±2.64	11.48±2.34	4.60±1.19	0.362±0.35	32.86±6.52	0.70±0.11
16	0.69±0.51	6.51±2.64	5.26±2.34	2.00±1.19	0.173±0.35	14.58±6.52	0.57±0.11
17	1.27±0.51	10.86±2.64	9.34±2.34	2.93±1.19	0.246±0.35	23.86±6.52	1.52±0.11
18	42.48±0.51	270.27±2.64	225.94±2.35	104.79±1.19	4.097±0.35	655.04±6.52	4.78±0.11
2000: CALIDA							
1	6.88±0.59	27.84±3.03	28.84±2.69	8.43±1.37	0.182±0.40	72.10±7.48	0.834±0.13
2	6.61±0.59	47.24±3.03	29.18±2.69	20.21±1.37	0.269±0.40	104.13±7.48	0.830±0.13
9	2.64±0.61	25.22±3.12	11.50±2.77	11.30±1.41	0.221±0.41	51.03±7.71	0.493±0.13
10	1.73±0.61	14.93±3.12	7.34±2.77	6.36±1.41	0.143±0.41	30.79±7.71	0.442±0.13
11	0.77±0.61	11.54±3.12	6.35±2.77	4.34±1.41	0.127±0.41	23.42±7.71	0.434±0.13
12	0.76±0.61	16.19±3.12	8.65±2.77	6.31±1.41	0.205±0.41	32.54±7.71	0.486±0.13
13	1.38±0.61	43.47±3.12	19.50±2.77	15.87±1.41	0.591±0.41	81.65±7.71	0.840±0.13
14	0.70±0.61	7.85±3.12	4.65±2.77	2.64±1.41	0.127±0.41	16.09±7.71	0.501±0.13
15	0.84±0.61	11.13±3.12	6.39±2.77	3.33±1.41	0.171±0.41	22.20±7.71	0.620±0.13
16	0.67±0.61	5.71±3.12	3.87±2.77	1.69±1.41	0.070±0.41	12.29±7.71	0.507±0.13
17	0.95±0.61	8.80±3.12	5.47±2.77	2.16±1.41	0.123±0.41	17.93±7.71	0.994±0.13
18	20.32±0.61	198.99±3.12	111.79±2.77	75.14±1.41	2.105±0.41	416.68±7.71	2.984±0.13

\*BR: Bronquitis y Bronqueolitis aguda, FA: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis, IRS: Infecciones Agudas Respiratorias de localización superior, R: Rinofaringitis Aguda, SA: Sinusitis aguda, TER: Total de enfermedades respiratorias excluyendo las neumonías, N: Neumonías, PP: PM<sub>10</sub>, y O: ozono.  
Epoca Fria: Ene a Mar y Oct a Dic.  
Epoca Cálida: Abr a Sep.

### 4. 3.3 Efectos de las partículas (PM<sub>10</sub>) dentro del grupo de edad.

En esta sección se presentan los efectos que tienen las PM<sub>10</sub> sobre las patologías evaluadas, infecciones respiratorias agudas y neumonía, para cada grupo de edad (Ver: Tabla 4.8)

En la Tabla 4.8 se muestran los coeficientes de regresión parcial<sup>9</sup> (expresado como el incremento en el número de casos de cada patología, por unidad de incremento en las PM<sub>10</sub>. En este modelo matemático no se incluyeron todas las variables involucradas al realizar la regresión, por lo que los resultados que se explican a continuación podrían no ser precisos debido a sesgos.

El análisis de la Tabla 4.8 arroja los siguientes resultados:

- En todos los casos, los interceptos fueron altamente significativos ( $P < 0.01$ ) con excepción de Sinusitis aguda (SA); Este parámetro se interpreta como el número de casos de cada enfermedad, cuando el nivel de contaminante (PM) es cero (o sea  $X_i$ ); a veces tienen significado real, en este caso, correlación entre el nivel de contaminación y el aumento de casos de patologías respiratorias. En otros casos, por ejemplo cuando son negativos, no tienen interpretación práctica, pero aún así permiten no sólo presentar gráficamente el fenómeno o variable dependiente, sino esencialmente hacer predicciones [Drapper y Smith, 1966], lo cuál es una de las finalidades de crucial importancia en el análisis de covarianza.
- Coeficientes de Regresión ( $\beta_{1's}$ ): En el caso de Bronquitis y bronqueolítis aguda (BR), se encontró un  $\beta_1 = 0.015$ , lo que significa que por cada unidad de aumento en las partículas, se espera un incremento de esa magnitud en los casos de BR, en contraste, para el mismo grupo en el año 2000 se obtuvo un  $\beta_1 = -0.15$ .
- Para Faringitis, amigdalitis y laringitis (FA), se obtuvieron para el grupo de edad de 5-14 años (Grupo 3) y para los grupos 8 y 18,  $\beta_1 = 0.12$ ,  $0.78$ , y  $-0.39$  respectivamente. Mientras que para Infecciones agudas respiratorias de localización múltiple (IRS) se estimaron valores de  $\beta_1 = 0.12$ , -

---

<sup>9</sup> Este coeficiente es el  $B_1X_1$  contenido en el Modelo Matemático General 4.1. Por otra parte, son parciales porque hay un coeficiente para cada grupo de edad.

0.09, -0.77 y -0.51 para los grupos de edad 3 (de 5-14 años), 7(mayores de 65 años), 9( de 5 a 9 años) y 8 y 18, respectivamente.

- Por lo que se refiere a Rinofaringitis aguda (R) los coeficientes que resultaron significativos fueron los del grupo 1, 3, 6, 7,8 13 y 18, cuyos valores correspondientes fueron de  $\beta_1 = -0.05, 0.09, -0.04, -0.06, 0.40, -0.09$  y  $-0.39$ .
- En cuanto al total, TER; se detectaron coeficientes de regresión significativos para los grupos 3, 7, 8, 13 y 18 cuyos valores se estimaron en  $\beta_1 = 0.37, -0.29, 2.32, -0.44$  y  $-1.60$ .
- Finalmente para neumonías, los grupos afectados por las partículas fueron el 1 (menores de un año) y 18 (Total de casos de infecciones respiratorias), con  $\beta_1 = -0.05$  y  $0.01$ .
- En general los grupos 8 y 18 mostraron que la cantidad de partículas se relaciona directa y significativamente con la incidencia de casos de todas las patologías evaluadas, sin embargo, tanto la magnitud como la dirección del efecto de las partículas varía de acuerdo a la patología específica.



**Tabla 4.8.** Modelos reducidos de regresión parcial por efectos de PM<sub>10</sub> dentro de grupo, sobre las variables dependientes.

GRUPOS	VARIABLES DEPENDIENTES						
	BR	FA	IRS	R	SA	TER	N
INTERCEPTO	25.68**	201.67**	125.39**	87.18**	6.32**	459.32**	2.81**
1	-0.01NS	-0.08NS	-0.03NS	-0.05*	-0.06NS	-0.18NS	-0.005**
2	0.003NS	-0.004NS	0.06NS	0.006NS	-0.06NS	0.04NS	-0.003NS
3	0.03**	0.12*	0.12**	0.09**	-0.001NS	0.37**	-0.007**
4	-0.02NS	-0.04NS	-0.009NS	-0.01NS	-0.001NS	-0.08NS	-0.008**
5	0.12NS	-0.04NS	0.06NS	0.01NS	-0.001NS	0.12NS	-0.004NS
6	-0.014NS	-0.05NS	-0.04NS	-0.04NS	-0.0002NS	-0.14NS	-0.004NS
7	-0.29NS	-0.11NS	-0.09*	-0.06*	-0.004NS	-0.29*	0.001NS
8	0.015**	0.78**	-0.77**	0.40**	0.01NS	2.32**	0.04**
9	-0.038NS	-0.13NS	-0.16*	-0.06NS	-0.004NS	-0.38NS	-0.001NS
10	-0.01NS	-0.08NS	-0.07NS	-0.03NS	-0.0009NS	-0.21NS	-0.0008NS
11	-0.007NS	-0.08NS	-0.07NS	-0.03NS	0.0005NS	-0.20NS	-0.001NS
12	-0.006NS	-0.10NS	-0.07NS	-0.04NS	-0.002NS	-0.25NS	-0.001NS
13	-0.044NS	-0.15NS	-0.13NS	-0.09*	-0.01NS	-0.44*	-0.001NS
14	-0.009NS	-0.09NS	-0.07NS	-0.03NS	0.0006NS	-0.20NS	-0.001NS
15	-0.009NS	-0.12NS	-0.09NS	-0.04NS	-0.0009NS	-0.27NS	-0.001NS
16	0.009NS	-0.10NS	-0.07NS	-0.02NS	0.003NS	-0.20NS	-0.001NS
17	-0.01NS	-0.13NS	-0.07NS	-0.03NS	0.0006NS	-0.27NS	-0.006NS
18	-0.15**	-0.39**	-0.51**	-0.39**	-0.08**	-0.60**	-0.01**

\*: P<0.05, \*\*: P<0.01, NS: No Significativa.

\*BR: Bronquitis y Bronqueolítis aguda, FA: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis, IRS: Infecciones Agudas Respiratorias de localización superior, R: Rinofaringitis Aguda, SA: Sinusitis aguda, TER: Total de enfermedades respiratorias excluyendo las neumonías, N: Neumonías, PP: PM<sub>10</sub>, y O: ozono.

## CAPITULO 5

### ANÁLISIS ECONOMICO

En el presente Capítulo se realiza un estimado del ahorro económico esperado al mantener los niveles más bajos de contaminación en el AMM, el cual es el resultado de la disminución del número de consultas otorgadas por infecciones respiratorias en hospitales del IMSS.

Para llevar a cabo la estimación, se requirió de la información obtenida en capítulos anteriores tal como:

- Clínicas de primer nivel, asociadas con altas y bajas concentraciones de  $PM_{10}$
- Población derechohabiente en cada una de las clínicas seleccionadas.
- Número de consultas otorgadas por cada mil derechohabientes.
- Costo por atención médica

#### 5.1 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA ESTIMAR EL BENEFICIO ECONÓMICO ASOCIADO POR DISMINUCIÓN EN LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR $PM_{10}$ .

Debido a que se trata de una aproximación, esta fue hecha sólo para 5 de las clínicas que se ubican en el AMM. La elección de las mismas se hizo bajo el criterio de que todas las clínicas debían de ser del mismo nivel (primer nivel). Se analizaron en la sección 3.3 del Capítulo 3, con los periodos de alta y baja contaminación en sus correspondientes zonas geográficas como se muestra en la Figura 3.8. Es por ello que fueron únicamente 36 de las 108 semanas correspondientes al período de estudio.

Para realizar el cálculo se empleó la siguiente ecuación:

$$\Sigma Y_i = (A_{ij} * B) \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

$\Sigma Y_i$  = Ahorro total en pesos por consultas, de las unidades médicas i.

$A_{ij}$ = Diferencia<sup>†</sup> entre el número mayor y menor de consultas otorgadas por cada mil

derechohabientes, por unidad médica i. , de acuerdo a al período j.

B= Costo por consulta externa en pesos.

### 5.1.1 Consultas Otorgadas debidas a Infecciones Respiratorias Agudas

Se analizó previamente la Figura 3.8, en ella se puede apreciar que los niveles de contaminación mantienen cierta tendencia en cada una de las zonas de monitoreo. Las clínicas de primer nivel seleccionadas fueron las siguientes: 37, 39, 7, 58 y 27 (Pag. 37 y 38). Las clínicas permiten visualizar cómo varían las consultas que se otorgan de acuerdo a la zona geográfica en donde se localizan. Posteriormente se tomaron las semanas correspondientes a cada período tal y como aparecen en la Tabla 3.8. Para cada una de ellas, se calculó el número de consultas otorgadas por cada mil derechohabientes. Las consultas se asocian a semanas con alta y baja contaminación, por tal motivo se supone que cuando se han demandado mayor número de consultas es debido a la contaminación presente en el AMM. En la Tabla 5.1 se presentan los valores obtenidos para cada semana, período y unidad médica. También se muestra la diferencia entre el número de consultas. Esa diferencia entre las consultas semanales, representa el ahorro en consultas por niveles de contaminación bajos.

**Tabla 5.1 NÚMERO TOTAL DE CONSULTAS OTORGADAS SEMANALMENTE POR INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS POR CADA MIL DERECHOHABIENTES.**

Primer Período Unidad Médica						Segundo Período Unidad Médica						Tercer Período Unidad Médica					
Sem	37	39	7	58	27	Sem	37	39	7	58	27	Sem	37	39	7	58	27
14	6.0	10.5	10.3	8.3	7.2	44	10.2	14.3	14.5	11.4	11.1	71	3.0	6.6	6.0	4.3	3.7
15	5.4	10.4	9.7	7.8	6.4	45	10.0	13.5	14.2	12.5	9.3	72	3.9	7.1	7.0	5.2	4.4
16	5.4	8.9	8.5	7.4	6.1	46	8.5	13.3	13.2	10.6	8.6	73	4.3	6.0	6.5	5.8	4.8
17	5.1	7.7	6.9	5.5	5.1	47	9.7	14.9	13.6	11.6	8.7	74	3.5	6.4	6.7	5.7	4.5
18	5.0	8.0	7.4	6.3	4.9	48	10.4	16.1	15.3	13.6	11.1	75	3.9	5.5	6.5	5.8	4.7
19	4.2	6.9	6.3	3.9	4.5	49	11.9	18.1	18.0	16.0	12.6	76	4.5	6.3	7.1	5.9	4.8
20	4.5	6.6	6.6	5.0	4.5	50	13.8	18.3	18.2	17.7	13.8	77	5.0	7.6	7.5	6.2	5.7
21	4.1	6.7	6.7	5.8	4.5	51	12.4	22.0	16.4	16.0	13.4	78	4.8	6.5	7.2	5.8	5.1
22	4.8	6.3	6.7	5.5	4.9	52	10.1	27.6	16.0	13.4	12.3						
23	4.7	7.3	6.8	6.6	4.8	53	10.9	53.1	15.4	15.2	11.3						
24	4.6	7.2	6.0	5.3	5.0	54	8.1	46.1	13.4	13.5	9.1						
25	3.6	6.9	7.5	6.0	5.1	55	8.1	37.4	10.9	9.7	8.2						
26	4.1	8.3	8.1	6.5	5.2	56	8.7	12.1	10.7	10.4	8.3						
						57	6.8	11.0	10.2	8.4	7.2						
						58	9.0	13.6	12.5	11.1	11.0						
<b>Dif.</b>	<b>2.4</b>	<b>4.2</b>	<b>4.3</b>	<b>4.4</b>	<b>2.4</b>	<b>Dif.</b>	<b>7.0</b>	<b>42.1</b>	<b>8.0</b>	<b>9.3</b>	<b>6.6</b>	<b>Dif.</b>	<b>2.0</b>	<b>2.1</b>	<b>1.5</b>	<b>1.9</b>	<b>2.0</b>

<sup>†</sup> La diferencia es el total de consultas que se ahorrarían por cada mil derechohabientes semanalmente en cada clínica.

**5.1.2 Estimación de costos por consultas disminuidas debido a los niveles de contaminación.**

Para llevar a cabo los costos que implican una disminución en el número de consultas, se empleó la ecuación 5.1. Tomando en cuenta los siguientes costos por consulta externa de acuerdo al nivel de la Unidad Médica del IMSS:

	Año	Costo <sup>s</sup>
1. Unidades Médicas de primer nivel:	1999	\$192.00
	2000	\$216.00
2. Unidades Médicas de segundo nivel:	1999	\$268.00
	2000	\$312.00
3. Unidades Médicas de tercer nivel:	1999	\$384.00
	2000	\$408.00

En la Tabla 5.2 se presenta un estimado a grosso modo del ahorro aproximado que se tendría al mantener los niveles más bajos de partículas (PM<sub>10</sub>) que se han presentado en el AMM. Aunque el valor es poco representativo, debido a que fue calculado únicamente para esos periodos, esto da una idea del beneficio en salud que implica la contaminación del aire.

De acuerdo a la Tabla 5.2, el principal beneficio en salud al mantener los niveles más bajos de partículas (PM<sub>10</sub>), serían los derechohabiente de las unidades médicas No. 39 y 7, de la zona Centro y Suroeste. Ahora bien, el ahorro estimado que se tendría en las 36 semanas que se analizaron sería de \$1,081,320.00 únicamente para estas 5 clínicas. Esta cifra corresponde a los 644,344 derechohabientes de las clínicas antes mencionadas, siendo un ahorro promedio por paciente de \$4.00 únicamente por la consulta, sin incluir los demás costos.

Lo anterior nos lleva a comprender la importancia de realizar un estudio económico exhaustivo que involucre costos no únicamente por atención a la enfermedad (costos directos, como son la consulta, medicamentos, hospitalización, etc.), sino que además incluya costos indirectos o de oportunidad (como por ejemplo, días no laborados, pérdida de productividad, etc) y los intangibles que se asocian a la pérdida de calidad de vida debido a los efectos de la contaminación del aire sobre la salud.

<sup>s</sup> Información obtenida de los Anuarios Estadísticos del Instituto Mexicano del Seguro Social 1999 y 2000. Delegación Nuevo León.

**Tabla 5.2 AHORRO ESTIMADO POR CONSULTAS DE INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS.**

Unidad Médica	Zona de Ubicación	Población Derechohabiente	Total de Consultas Ahorradas/1000 derechohab. (A)	Costo (B)	Total (A*B)	Total por Unidad Médica
37	Centro	(1999) 38872	P-1 = 93	\$ 192.00	\$ 17,856.00	
		(2000) 42341	P-2= 272	\$ 192.00	\$ 52,224.00	
			P-3= 84	\$216.00	\$ 18,144.00	\$ 88,224.00
39	Centro	(1999) 41145	P-1 = 172	\$ 192.00	\$ 33,024.00	
		(2000) 45024	P-2= 1732	\$ 192.00	\$332,544.00	
			P-3= 94	\$216.00	\$ 20,304.00	\$ 385,872.00
7	Suroeste	(1999) 141946	P-1 = 610	\$ 192.00	\$ 117,120.00	
		(2000) 154550	P-2= 1135	\$ 192.00	\$ 217,920.00	
			P-3= 231	\$216.00	\$ 49,896.00	\$ 384,936.00
58	Suroeste	(1999) 36964	P-1 = 162	\$ 192.00	\$ 31,104.00	
		(2000) 40350	P-2= 343	\$ 192.00	\$ 65,856.00	
			P-3= 76	\$216.00	\$ 16,416.00	\$ 113,376.00
27	Sureste	(1999) 49862	P-1 = 119	\$ 192.00	\$ 22,848.00	
		(2000) 53380	P-2= 329	\$ 192.00	\$63,168.00	
			P-3= 106	\$216.00	\$ 22,896.00	\$ 108,912.00
					<b>Ahorro Total</b>	<b>\$1,081,320.00</b>

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones del presente trabajo, así como las recomendaciones pertinentes para la realización de investigaciones posteriores que permitan mejorar el estudio de los efectos en salud que tienen los contaminantes del aire sobre los habitantes del AMM.

Las conclusiones que se obtuvieron en este trabajo son las siguientes:

- El análisis estadístico de la información de calidad del aire muestra que las zonas Noroeste (Monterrey) y Suroeste (Santa Catarina), son aquellas en donde se presentaron las concentraciones de los contaminantes ( $O_3$  y  $PM_{10}$ ) más altas en el AMM durante los dos años de estudio. El  $O_3$  por su parte mostró menor variabilidad temporal en su concentración.
- Las enfermedades respiratorias estudiadas se correlacionan notablemente con la época del año, es decir, en las épocas frías siempre aumentaran las enfermedades respiratorias. Siendo los grupos de edad de mayor riesgo los niños menores de hasta 9 años, así como los mayores de 65 años y eventualmente un grupo intermedio (25-44 años). Respecto a las épocas cálidas, aunque el número de casos que se reporta es inferior, los grupos de mayor riesgo son los mismos que para las épocas frías.
- Las partículas ( $PM_{10}$ ) mostraron que se relacionan directa y significativamente (con los grupos que corresponden al total de infecciones respiratorias agudas, Grupos 8 y 18), con la incidencia de casos de todas las patologías evaluadas, sin embargo tanto la magnitud como la dirección del efecto de las partículas varía de acuerdo a la patología específica.
- Las correlaciones entre las enfermedades (BR, FA, IRS, y R) son altas y significativas (todas ellas positivas), la única excepción es para la neumonía, esto significa que a medida que el número de casos se incrementa en una de ellas, también aumentará la incidencia en las otras.

- Las correlaciones entre partículas y las diferentes enfermedades fueron muy pequeñas pero altamente significativas, la excepción fue para Bronquitis y bronquiolitis aguda (BR) en cuyo caso fue independiente. En lo que respecta al ozono no registró ninguna correlación con los casos de los diversos grupos de enfermedades, esto puede ser atribuible a que la mayoría de las concentraciones registradas de ozono fueron por debajo de los 100 puntos IMECA, y otro factor importante es que durante el periodo de estudio, hubo días en donde no se registraron mediciones de dicho contaminante.
- En cuanto al ahorro estimado que se podría asociar por beneficios en salud de los habitantes, en 5 unidades médicas del AMM es de \$1,081,320.00, esto sería posible si se mantuvieran los niveles más bajos de contaminación por partículas que se han registrado en las zonas donde se localizan dichas unidades. Para sacar una cifra real es necesario realizar un estudio costo-beneficio que contemple todas las variables que se involucran en un problema tan complejo como es la contaminación del aire y sus repercusiones en la salud de los habitantes.

Las recomendaciones son las siguientes:

- Crear una base de datos con la información de las consultas otorgadas diariamente. Esto permitirá optimizar el tiempo en el manejo de la gran cantidad de información que se genera, además de determinar mediante el análisis estadístico, cuántos días después de que se presentan concentraciones elevadas de los contaminantes del aire, acuden los derechohabientes a solicitar los servicios en salud.
- Obtener información de consultas otorgadas por infecciones respiratorias agudas de otras instituciones de salud (ISSSTE, DIF, SSA, Clínicas y Hospitales privados, etc.) del AMM para el mismo periodo de estudio, con el fin de registrar el mayor número de consultas posible.
- Realizar un estudio de costo-beneficio que incluya los costos directos por atención a la enfermedad (infecciones respiratorias agudas y neumonía), costos indirectos o de oportunidad y los intangibles o de pérdida de calidad de vida debido a los efectos de la contaminación del aire sobre la salud.

- Incluir los restantes contaminantes criterio para buscar una posible correlación con las enfermedades respiratorias agudas.
  
- Obtener información para otras zonas cercanas al AMM, para realizar un estudio similar y poder llevar a cabo una comparación de los efectos en salud en zonas con marcadas diferencias en las concentraciones de contaminantes presentes en el aire.



---

---

## REFERENCIAS

1. Allred E.N., Bleecker E.R., Chaitman B.R., Dahms T.E., Gottlieb S.O., Hackney J.D., Pagano M., Selvester R.H., Walden S.M., y Warren J., *Short-Term Effects of Carbon Monoxide Exposure on the Exercise Performance of Subjects With Coronary Artery Disease*, N.Engl. J.Med, 321: 1426-1432, 1989.
  2. Arribas M.F., Rabanaque M.J., Martos Ma. C., Abad J.M., Alcalá T., Navarro F., *Efectos de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad diaria en la ciudad de Zaragoza , España, 1991-1995*, Salud Pública Mex., 2001; 43:4: 289-297.
  3. Cardona J.M., *Una metodología para estudiar la dispersión de PM<sub>10</sub> en Monterrey*, Tesis de maestría, ITESM, Monterrey, 1999.
  4. Castillejos S. M., *Caracterización de las circunstancias clínicas y epidemiológicas que rodean las muertes en días de alta y baja concentración de partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) y otros contaminantes atmosféricos en la zona suroeste del Area Metropolitana de la Ciudad de México*, OMS-N.A.M.X, 1999.
  5. Correa G.A., Muñoz C.R., García C.G., *Análisis de ozono y óxidos de nitrógeno mediante técnicas de series de tiempo y regresión lineal*, Secretaria de Medio Ambiente, México, 2000.
  6. De Nevers N., *Ingeniería de control de la contaminación del aire*, McGraw-Hill, México, 1998.
  7. Golberg M.S., Burnett R.T., Bailar J.C., Brook J., Bonvalot Y., Tamblyn R., Singh R., Valois M., *The association between daily mortality and ambient air particle pollution in Montreal, Quebec, Cause-specific mortality*, Montreal, Canadá, Enviro Res 2001;86(1): 26-36.
  8. Gutiérrez J.H., *Contaminación del aire; riesgos para la salud*, México, 1997.
  9. Hernández C.L., Téllez R.M., Sanín A.L., Lascasaña N.M., Campos A., Romieu I., *Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua*, Salud Pública Mex, 2000; 42:4: 288-297.
  10. INE, *Programa de Administración de la calidad del aire del Area Metropolitana de Monterrey, 1997-2000*, Subsecretaría de Ecología, Monterrey, 1995.
  11. INE, *Calidad de aire*, Sistema Nacional de Información Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, [http://www.ine.gob.mx/cal\\_aire/espanol/caai.html](http://www.ine.gob.mx/cal_aire/espanol/caai.html), México, Mayo, 2001.
- 
-

- 
12. INEGI, *XII CENSO NACIONAL DE POBLACION Y VIVIENDA*, Censo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática, <http://www.inegi.gob.mx/>, México, 1995.
  13. INEGI, *Marco Geoestadístico*, <http://www.inegi.gob.mx/>, México, 2000.
  14. INEGI, Mapas de Climas, [http://www.inegi.gob.mx/territorio/espanol/estados/nl/climas\\_map.html](http://www.inegi.gob.mx/territorio/espanol/estados/nl/climas_map.html), México, última actualización:03/10/01.
  15. LaGrega M.D., Buckingham P.L., Evans J.C., *Gestión de Residuos Tóxicos: Tratamiento, Eliminación y Recuperación de suelos*, McGraw-Hill, México, 1996.
  16. Lascasaña N.M., Aguilar G.C., Romieu I., *Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de America Latina*, Salud Pública Mex., 1999; 41: 203-215.
  17. Martínez H., Suriano K., Ryan G., Pelto G., *Etnografía de la infección respiratoria aguda en una zona rural del altiplano mexicano*, Salud Pública Mex 1997;39:207-216.
  18. NOM, *Límite de máximos permisibles para el ozono*, NOM-022-SSA1-1993. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Gobernación, México, 1994a.
  19. NOM, *Límite de máximos permisibles para partículas PM<sub>10</sub>*, NOM-025-SSA1-1993. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Gobernación, México, 1994b.
  20. OMS, *Guías para la calidad del aire*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza, 1999.
  21. Rosales C.A., Torres M.V., Olaiz F.G., Borja A., *Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias epidemiológicas*, Salud Pública Mex 2001: (43);544-555.
  22. Sánchez M., Morel T., *Una estimación de los beneficios en salud de reducir la contaminación en Santiago*, Comisión del Medio Ambiente del Centro de Estudios Públicos, Georgetown University, U.S.A., 1992.
  23. Seinfeld H.J., *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*, John Wiley&Sons, U.S.A., 1998.
  24. Seoáñez C.M., *El Gran Diccionario del Medio Ambiente y de la Contaminación*, Mundi Prensa, Madrid, 1999.
  25. SIMA, *Datos de Calidad del aire y meteorología*, Sistema Integral de Monitoreo, Subsecretaría de Ecología de Nuevo León, México, 1999-2000.
-

- 
- 
26. SIMA, *Sistema Integral de Monitoreo*, [http://www.nl.gob.mx/dep/sduop/sima/sima\\_des.htm](http://www.nl.gob.mx/dep/sduop/sima/sima_des.htm), Subsecretaría de Ecología de Nuevo León, México, última actualización:17/07/2001.
  27. Soler M.A., *Manual de Gestión del Medio Ambiente*, Ariel, Barcelona, 1997.
  28. Spix C., *Short-term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of APHEA study results.(Air pollution and Health: a European Approach)*, Environmental Health. Jan-Feb 1998.
  29. Stephen S.H., Seager L.S., *Química ambiental: contaminación del aire y agua*, Blume, Barcelona, 1981.
  30. Téllez R. M., Romieu I., Polo P. M., Ruiz V.S., Meneses G.F., Hernández A.M., *Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Cd. de México*, Salud Pública Mex: 1997; 39:512-522.
  31. Téllez R.M., Romieu I, Velasco R.S., Lezana M.A., Hernández A.M., *Daily respiratory mortality and PM10 pollution in Mexico City: importance of considering place of death.*, I.N.S.P., Eur Respir J 2000 Sep;16(3):391-6.
  32. Toxicología ambiental, *Evaluación de riesgos y restauración ambiental*, <http://superfound.pharmacy.arizona.edu/toxamb/c2-3-5.html>, última actualización: 07/07/2001, The University of Arizona, 2001.
  33. Velasco R.S., *Estudio de contaminación del aire y mortalidad en la Cd. de México*, I.N.S.P. Mex: 1997 38;296-302
  34. Wark Kenneth W.C., *Contaminación del aire: origen y control*, Limusa, México, 1998.
- 
-

**ANEXO 1**

**Tabla A1** Registro de concentraciones en puntos IMECA para ozono y partículas , 1999.

SEMANA	ESTACIÓN DE MONITOREO									
	SURESTE		NORESTE		CENTRO		NOROESTE		SUROESTE	
	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>
1	ND	82	ND	149	74	128	80	ND	83	98
2	ND	110	ND	121	70	106	88	ND	65	106
3	ND	114	ND	112	70	94	87	ND	106	100
4	ND	81	ND	103	57	74	92	ND	76	94
5	ND	78	ND	119	62	88	85	ND	81	72
6	ND	84	ND	150	54	81	72	156	79	64
7	ND	71	ND	86	66	51	79	121	74	60
8	ND	99	ND	102	93	64	107	156	110	78
9	ND	157	ND	90	76	62	77	ND	78	64
10	ND	104	ND	167	65	67	83	103	102	75
11	ND	153	ND	130	53	47	72	147	72	42
12	ND	95	ND	87	82	56	84	89	86	44
13	ND	72	ND	131	74	66	52	64	83	63
14	ND	94	ND	113	79	69	85	106	102	60
15	ND	82	ND	102	42	43	55	69	61	45
16	ND	64	ND	138	75	95	85	ND	92	68
17	ND	49	ND	145	ND	98	57	ND	60	34
18	ND	114	ND	132	ND	46	62	ND	70	70
19	ND	54	ND	129	ND	122	75	ND	100	45
20	ND	51	ND	139	ND	40	63	ND	89	40
21	ND	31	ND	127	ND	90	60	ND	77	42
22	ND	77	ND	108	ND	85	62	ND	86	38
23	ND	64	ND	77	ND	29	49	ND	71	32
24	ND	52	ND	111	ND	70	55	ND	75	35
25	ND	17	ND	112	ND	54	55	ND	73	18
26	ND	35	ND	ND	ND	35	60	ND	70	31
27	ND	103	ND	ND	ND	20	52	ND	60	25
28	ND	42	ND	ND	ND	27	70	ND	86	64
29	ND	49	ND	ND	ND	21	50	ND	69	57
30	ND	ND	ND	ND	ND	19	70	ND	95	46
31	ND	75	ND	56	ND	24	55	ND	65	72
32	ND	68	ND	ND	ND	16	58	ND	103	72
33	ND	53	ND	ND	ND	19	58	ND	62	90
34	ND	39	ND	ND	ND	67	60	ND	76	93
35	ND	47	ND	ND	ND	72	58	ND	66	31
36	ND	21	ND	ND	ND	17	57	52	89	27
37	ND	35	ND	ND	ND	45	57	99	61	22
38	ND	66	ND	ND	ND	39	136	92	138	53
39	ND	58	ND	ND	ND	23	66	93	94	48
40	ND	21	72	ND	ND	21	80	100	113	41
41	ND	34	117	ND	ND	24	83	113	90	55
42	ND	64	62	ND	ND	19	75	100	70	59
43	ND	39	ND	ND	ND	21	69	73	67	57
44	ND	35	ND	ND	ND	126	44	131	38	79
45	ND	95	ND	ND	ND	131	59	112	44	80
46	ND	57	62	ND	ND	29	90	81	85	68
47	ND	65	62	ND	ND	18	74	79	75	107
48	ND	98	52	ND	ND	15	74	137	68	109
49	ND	81	72	ND	ND	15	87	95	80	93
50	ND	22	49	ND	ND	14	59	8	45	135
51	ND	22	40	ND	ND	13	53	8	50	60
52	ND	24	47	ND	ND	48	74	40	64	5

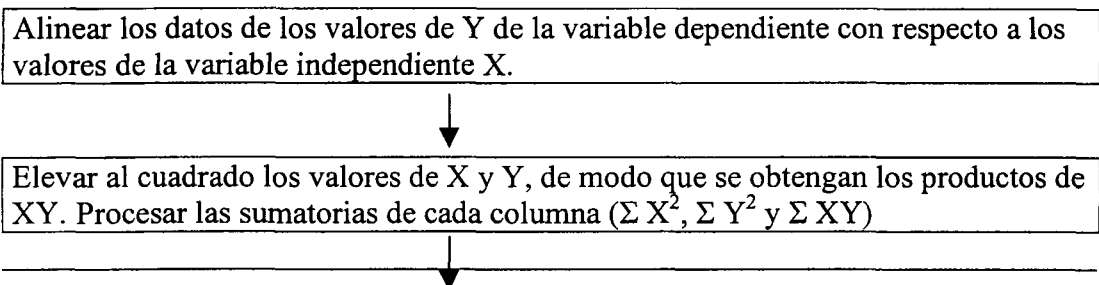
## B.1 ANÁLISIS DE COVARIANZA

El análisis de covarianza trata de dos o más variables medidas y donde cualquier variable independiente medible no se encuentra a niveles predeterminados. El procedimiento de análisis de covarianza hace uso de conceptos tanto de correlación como regresión, mismos que fueron explicados con anterioridad. A menudo, una relación lineal es una aproximación razonablemente buena para una relación no lineal con tal que los valores de las variables independientes no cubran un intervalo muy amplio.

Los usos más importantes del análisis de la covarianza son:

- a) Medir la asociación de entre dos o más variables,
- b) Conocer la linealidad de un fenómeno, es decir, saber si una regresión es rectilínea, curvilínea, y qué tipo de función matemática la representa mejor y,
- c) Conocer el contraste de dos o más pendientes de regresión.
- d) Controlar el error y aumentar la precisión,
- e) Estimar datos faltantes
- f) Particionar una covarianza total o suma de productos cruzados en componentes.
- g) Ayudar a la interpretación de los datos, especialmente en lo concerniente a la naturaleza de los efectos de las variables.

Al representar un fenómeno que muestra correlación, la función matemática que ajusta a los datos puede ser de una línea recta. Y mediante esta técnica de análisis de covarianza se puede conocer cuál es la forma ideal de la pendiente. En la Figura B3, se puede apreciar el algoritmo de covarianza.



---

Los valores de X se transforman a las funciones cuadrática, cúbica, cuártica y quinta, considerar como otra variable independiente ( $X_n$ ), conducir a los cálculos de :

$$\Sigma X_n^2, \Sigma X_n Y \text{ y } \Sigma X_1 X_n$$

Cuando los intervalos de X son iguales y se desea evitar valores con muchos dígitos como resultado de las operaciones aritméticas, se puede transformar a coeficientes de polinomios.



Calcular la suma de cuadrados de cada área, con las formulas siguientes:

$$\Sigma X_n = \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{N}$$

$$\Sigma Y_n = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N}$$

$$\Sigma XY^* = \Sigma XY - \frac{(\Sigma XY)}{N}$$

\* La suma de los cuadrados XY se conoce también como suma de los productos (SP)



Calcular la suma de cuadrados correspondientes a cada función (rectilínea, cuadrática, cúbica, etc.) por la regresión con la fórmula siguiente:

$$\Sigma_r = \frac{\Sigma XY^2}{\Sigma X_n}$$

Calcular la suma de cuadrados dados del error o residual para cada función considerada para el análisis con las fórmulas siguientes:

$$\Sigma_c = \Sigma Yn - \frac{\Sigma XY^2}{\Sigma X}$$



Ante la existencia de un número de variables mayor que dos , se requiere elaborar ecuaciones simultáneas a fin de ajustar las pendientes de regresión para cada variable independiente y de esta forma calcular la suma de los cuadrados de la regresión y del error. Las ecuaciones simultáneas se construyen de la manera siguiente:

$$\Sigma X_1 Y = b_1 \Sigma X_1 + \Sigma X_1 X_2 + b_3 \Sigma X_1 X_3$$

$$\Sigma X_2 Y = b_1 \Sigma X_1 X_2 + b_2 \Sigma X_2 + b_3 \Sigma X_2 X_3$$

$$\Sigma X_3 Y = b_1 \Sigma X_1 X_3 + b_2 \Sigma X_2 X_3 + b_3 \Sigma X_3$$



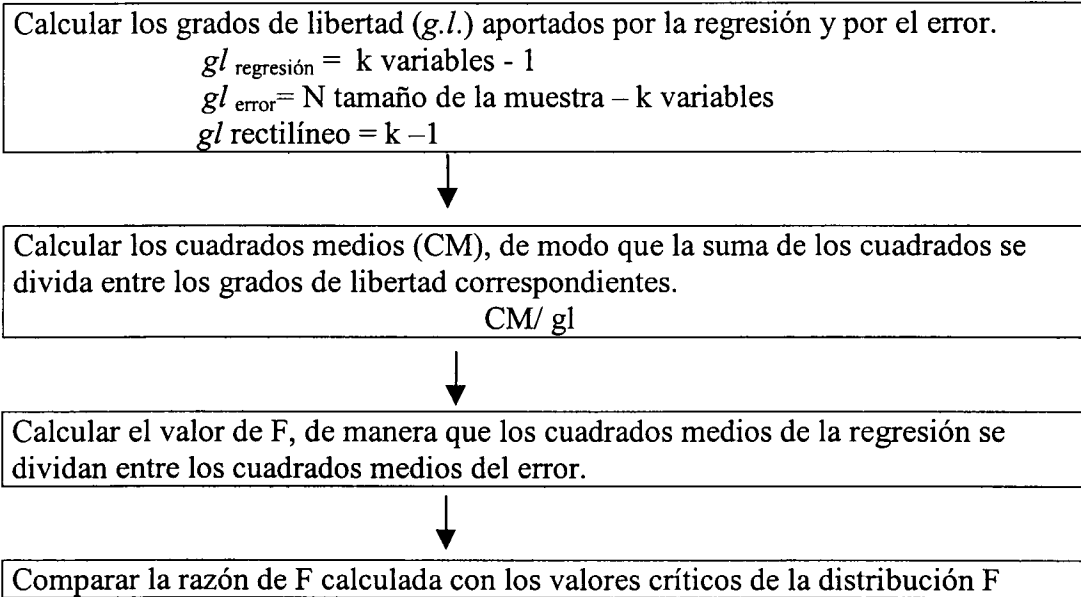


Figura B3. Algoritmo de covarianza.

## B.2 CORRELACIÓN LINEAL SIMPLE

El coeficiente de correlación es una medida de asociación entre dos variables y se simboliza con la literal  $r$ .

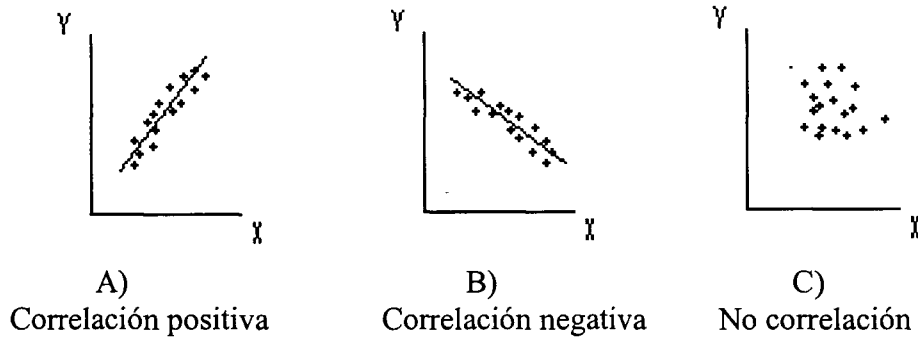
Los valores de correlación van de + 1 a -1, pasando por el 0, el cual corresponde a ausencia de correlación. Los primeros dan a entender que existe una correlación directamente proporcional e inversamente proporcional, respectivamente.

La Figura B.1 muestra tres gráficas en coordenadas cartesianas, en las cuales la variable independiente (X) se ubica en las abscisas y la dependiente (Y) en el eje de las ordenadas. Los coeficientes de correlación significan esa asociación entre los cambios que se observan en la variable dependiente con respecto a la variable independiente.

La Figura B.1 A) representa una correlación positiva, es decir, conforme los valores de X aumentan, también aumentan los valores de Y. A su vez, la Figura B.1 B) muestra una correlación negativa, de modo que al incrementarse los valores de la variable independiente, los valores de la dependiente disminuyen. La Figura B.1 C) indica no correlación.

---

---



**Figura 4.1** Tres formas de correlación lineal.

Figura B.1. Tipos de Correlación

El coeficiente de correlación lineal se define matemáticamente con la ecuación siguiente:

$$r = \frac{N\Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{[N\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2][N\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}} \quad \text{Ec.1}$$

donde:

$r$  = Coeficiente de correlación.

$\Sigma XY$  = sumatoria de los productos de ambas variables.

$\Sigma X$  = sumatoria de los valores de la variable independiente.

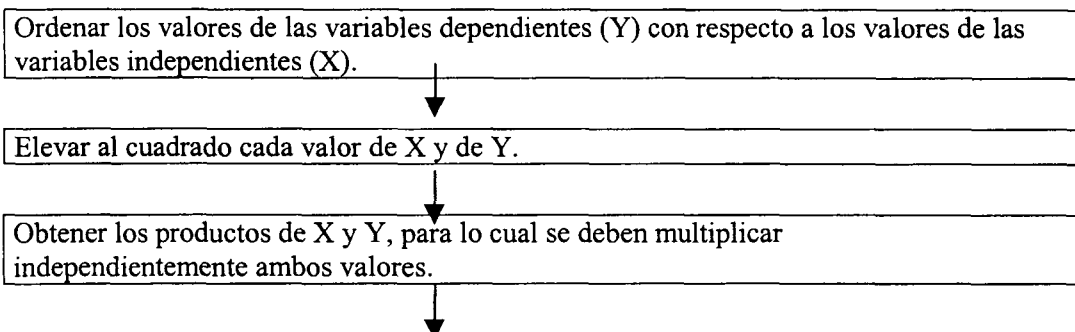
$\Sigma Y$  = sumatoria de los valores de la variable dependiente.

$\Sigma X^2$  = sumatoria de los valores al cuadrado de la variable independiente.

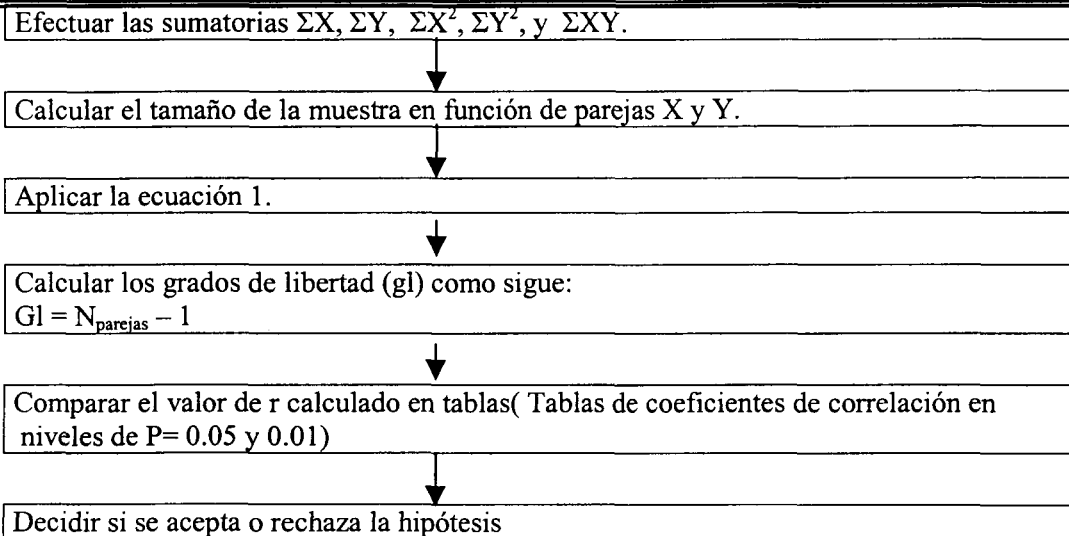
$\Sigma Y^2$  = sumatoria de los valores al cuadrado de la variable dependiente.

$N$  = tamaño de la muestra en función de parejas.

Cabe destacar que elevar al cuadrado el valor de  $r$  y multiplicarlo por 100 se obtiene el porcentaje de los cambios de  $Y$ , debidos a  $X$ , y la diferencia respecto al 100% señala el error. El algoritmo para obtener  $r$  es el que se muestra en la Figura B.1







**Figura B1.** Algoritmo para obtener el valor de r.

### B.3 ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE

Se entiende por regresión, la línea que se calcula teóricamente, a partir de las mediciones realizadas que presentan correlación y/o asociación. En el modelo de regresión múltiple, se supone que existe una relación lineal entre alguna variable Y, a la cual se da el nombre de variable dependiente, y X a las variables independientes.

Las suposiciones que se hacen en este análisis son las siguientes:

- a) Las  $X_i$  son variables no aleatorias (fijas). Esta suposición distingue al modelo de regresión múltiple del modelo de correlación múltiple. Esta condición indica que cualquier inferencia que se extraiga de los datos de la muestra sólo se aplica al conjunto de valores X observados y no a alguna colección mayor de X.
- b) Para cada conjunto de valores  $X_i$ , existe una subpoblación de valores Y. Para construir ciertos intervalos de confianza. Las medias de Y presentan una variación aleatoria y se distribuyen normalmente respecto a su media.
- c) Las varianzas de las subpoblaciones de Y son todas iguales.
- d) Los valores de Y son independientes. Es decir, los valores de Y seleccionados para un conjunto de valores X no dependen de los valores de Y seleccionados en otro conjunto de valores X.

Estas suposiciones pueden enunciarse en forma más concreta como:

---



---

---

---

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1j} + \beta_2 X_{2j} + \dots \beta_k X_{kj} + E_{ij} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$Y_i$  = Es un valor de una de las subpoblaciones de valores Y

$B_i$  = Son coeficientes de regresión.

$X_{1j} \dots X_{kj}$  = Son los valores de las variables independientes  $X_{1i}, X_{2i} \dots X_{ni}$

$E_{ij}$  = Es una variable aleatoria con media y variancia  $\sigma^2$ , la variancia común de las subpoblaciones de valores Y. Estos valores están distribuidos normalmente y son independientes.

En la Ecuación 2,  $\beta_0$  representa el punto donde el plano corta al eje Y, es decir, representa la ordenada al origen del plano,  $\beta_1$  mide el cambio promedio en Y para un incremento unitario en  $X_1$ , cuando  $X_2$  permanece inalterado, y  $\beta_2$ , mide el cambio promedio en Y para un incremento unitario por ejemplo en  $X_2$ , cuando  $X_1$  se mantiene inalterado. Por esta razón,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , se conocen como coeficientes de regresión parcial.

#### Obtención de la ecuación de regresión lineal múltiple

Las estimaciones insesgadas de los parámetros  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  del modelo especificado por la ecuación 2, se obtienen por el método de los mínimos cuadrados. Esto significa que se minimiza la suma de las desviaciones elevadas al cuadrado de los valores observados Y, respecto a la superficie de regresión resultante. En otras palabras, por el método de los mínimos cuadrados, se seleccionan estimaciones de  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  para la muestra, de tal manera que se minimice la suma:

$$\sum E_j^2 = \sum (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \dots - \beta_k X_{ki})^2 \quad \text{Ec.3}$$

La Ecuación 3, es la cantidad conocida como la suma de los cuadrados de los residuos también puede escribirse como:

$$\sum (Y_i - Y_c)^2$$

indicando el hecho de que se minimiza la suma de cuadrados de las desviaciones de los valores observados de Y, respecto de los valores de Y calculados a partir de la ecuación estimada.

---

---

---

---

Las estimaciones  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$  de los coeficientes de regresión se obtienen resolviendo el conjunto de ecuaciones normales:

$$\begin{aligned} Nb_0 + b_1 \sum X_{1i} + b_2 \sum X_{2i} + \dots + b_k \sum X_{ki} &= \sum Y_i \\ b_0 \sum X_{1i} + b_1 \sum X_{1i}^2 + b_2 \sum X_{1i} X_{2i} + \dots + b_k \sum X_{1i} X_{ki} &= \sum X_{1i} Y_i \\ b_0 \sum X_{2i} + b_1 \sum X_{2i} X_{1i} + b_2 \sum X_{2i}^2 + \dots + b_k \sum X_{2i} X_{ki} &= \sum X_{2i} Y_i \\ \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ b_0 \sum X_{ki} + b_1 \sum X_{ki} X_{1i} + b_2 \sum X_{ki} X_{2i} + \dots + b_k \sum X_{ki}^2 &= \sum X_{ki} Y_i \end{aligned}$$

El coeficiente de regresión  $b$  se estima por matrices.

**Fuentes de Variación en la regresión lineal.**

En el análisis de regresión al igual que en el análisis de varianza, los valores de  $Y$  pueden representarse mediante un modelo lineal aditivo.

$$Y_i = \mu + \beta(X_i - \bar{X}) + E_i \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

- $\mu$  = Representa la media de la población  $Y$ ;
- $\beta(X_i - X)$  = Representa la parte de  $Y$  que se debe exclusivamente al valor fijo de  $X_i$ ;
- $E_i$  = Es un elemento aleatorio , distribuido normalmente con media cero y varianza  $\sigma^2$  .

Es decir , que existe una línea de regresión verdadera , cuya representación matemática esta dada por la ecuación 3, en la que cada valor fijo de  $X$ , existe un arreglo de  $Y$ , que se distribuye normalmente, con media  $\mu$  y  $X$  ubicada sobre la línea verdadera de regresión.

---

---

---

---

### ANEXO 3

El Anexo 3 contiene las tablas con el número de observaciones de las consultas otorgadas por enfermedades respiratorias para el análisis estadístico de la calidad del aire y sus efectos en salud de los habitantes del AMM. Estas tablas se hacen para determinar el número de datos para cada variable necesarios para lograr el nivel de significancia de 95% incluido en el modelo matemático (el valor de cada dato representado en la tabla corresponde a una cifra X del número de consultas que fueron otorgadas, es decir, ese valor que aparece en la tabla no representa las consultas, únicamente el número de observaciones). Las tablas son necesarias para explorar el diseño del experimento y determinar el tipo de análisis a realizar dependiendo de la homogeneidad en el número de datos.

**Tabla C1** Distribución de observaciones para el estudio.

AÑOS	VARIABLES DEPENDIENTES								
	BR	FA	IRS	R	SA	TER	N	PP	O
1999	10399	10400	10392	10400	10400	10399	10397	9952	640
2000	15600	15600	15590	15600	15999	15600	15600	14304	-
EPOCAS									
1	5999	6000	5992	6000	5999	5999	6000	5680	400
2	4400	4400	4400	4400	4400	4400	4397	4272	240
3	9000	9000	8990	9000	9000	9000	9000	8280	-
4	6600	6600	6600	6600	6599	6600	6600	6024	-

\*BR: Bronquitis y Bronqueolitis aguda, FA: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis, IRS: Infecciones Agudas Respiratorias de localización superior, R: Rinofaringitis Aguda, SA: Sinusitis aguda, TER: Total de enfermedades respiratorias excluyendo las neumonías, N: Neumonías, PP: Partículas, y O: Ozono.

---

---

**Tabla C2** Distribución de observaciones para el estudio... continuación.

NIVEL DEL HOSPITAL <sup>1</sup>	HOSPITALES	VARIABLES DEPENDIENTES								
		BR	FA	IRS	R	SA	TER	N	PP	O
2	2	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1020	-
2	3	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1037	1664	-
1	5	1039	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
2	6	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	208	-
1	7	1040	1040	1033	1040	1040	1040	1040	1040	-
1	15	1040	1040	1039	1040	1039	1040	1040	1020	-
2	17	1040	1040	1040	1040	1040	1039	1040	1020	-
3	21	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1020	-
3	22	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
3	23	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
3	25	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
1	26	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
1	27	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1020	-
1	28	1664	1664	1661	1664	1664	1664	1664	1664	-
1	29	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1020	-
1	30	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1020	-
1	31	1040	1040	1035	1040	1040	1040	1040	208	-
1	32	1040	1040	1038	1040	1040	1040	1040	1020	-
3	34	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
1	35	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
1	36	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
1	37	416	416	416	416	416	416	416	416	-
1	38	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
1	39	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-
1	58	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	-

\*BR: Bronquitis y Bronqueolitis aguda, FA: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis, IRS: Infecciones Agudas Respiratorias de localización superior, R: Rinofaringitis Aguda, SA: Sinusitis aguda, TER: Total de enfermedades respiratorias excluyendo las neumonías, N: Neumonías, PP: Partículas, y O: Ozono.

<sup>1</sup>Primer nivel: Consulta externa general. Segundo Nivel: Consulta externa general y hospitalización, y Tercer Nivel: Consulta y Hospitalización de especialidades médicas.

**Tabla C3** Distribución de observaciones para el estudio... continuación.

GRUPOS	VARIABLES DEPENDIENTES								
	BR	FA	IRS	R	SA	TER	N	PP	O
1	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2436	80
2	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2436	80
3	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1244	80
4	1299	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1244	80
5	1300	1300	1300	1300	1300	1299	1300	1244	80
6	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1299	1244	80
7	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1299	1244	80
8	1300	1300	1292	1300	1300	1300	1299	1244	80
9	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1192	-
10	1300	1300	1300	1300	1299	1300	1300	1192	-
11	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1192	-
12	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1192	-
13	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1192	-
14	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1192	-
15	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1192	-
16	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1192	-
17	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1192	-
18	1300	1300	1290	1300	1300	1300	1300	1192	-

\*BR: Bronquitis y Bronqueolítis aguda, FA: Faringitis, Amigdalitis y Laringitis, IRS: Infecciones Agudas Respiratorias de localización superior, R: Rinofaringitis Aguda, SA: Sinusitis aguda, TER: Total de enfermedades respiratorias excluyendo las neumonías, N: Neumonías, PP: Partículas, y O: Ozono.

Grupos:

Grupo No.	Descripción	Grupo No.	Descripción
1	Menores de un año	10	10-14 años
2	1-4 años	11	15-19 años
3	5-14 años	12	20-24 años
4	15-24 años	13	25-44 años
5	25-44 años	14	45-49 años
6	45-64 años	15	50-59 años
7	Mayores de 65 años	16	60-64 años
8	Total de casos para 1999	17	Mayores de 65 años
9	5-9 años	18	Total de casos para 1999

Centro de Información-Biblioteca



30002006145593