

## **Capítulo IV. Metodología**

### **1. Objetivo**

El objetivo general de este análisis es efectuar la valoración económica de los efectos en la salud humana (mortalidad y/o morbilidad) que produce la contaminación atmosférica de las partículas en suspensión  $PM_{10}$  dentro de la ZMVM en el periodo comprendido entre 1995-2001.

Los objetivos particulares son:

- Conocer la asociación que existe entre la tasa de mortalidad y/o morbilidad (infecciones respiratorias agudas y neumonía) y la contaminación atmosférica de  $PM_{10}$ .
- Determinar el porcentaje del aumento en la tasa de mortalidad y/o morbilidad (infecciones respiratorias agudas y neumonía ) por cada 10% de incremento en  $PM_{10}$ .

### **2. Planteamiento de la hipótesis**

La hipótesis fundamental de este estudio, es que existe una asociación positiva entre el contaminante atmosférico  $PM_{10}$  y la tasa de mortalidad y/o morbilidad derivadas de infecciones respiratorias agudas y neumonía. Es decir la contaminación atmosférica produce un incremento en la tasa de mortalidad y/o morbilidad de los individuos.

Lave & Seskin establecen que la contaminación atmosférica causa un incremento en la tasa de mortalidad (Lave, 1997). Pope III et al (1992), determinan una asociación positiva entre la mortalidad diaria (no accidental) y la contaminación por partículas suspendidas  $PM_{10}$  en el Utah Valley, en este estudio dicha asociación es mayor para con las muertes causadas por enfermedades respiratorias. En cuanto a la morbilidad Pope III et al

(1992), determinaron que aumentos en  $PM_{10}$  están asociados con decrementos en la función pulmonar y otras afecciones del sistema respiratorio. Se trata de comprobar lo establecido por Pope III (1992).

### 3. Metodología para estimar la asociación entre la tasa de mortalidad y/o morbilidad y la contaminación atmosférica de $PM_{10}$

Uno de los indicadores del estado de salud de los habitantes de una localidad, es la tasa de mortalidad. Es por ello que es importante observar los diversos factores que afectan la mortalidad, entre estos factores encontramos:

Tabla IV.1  
Factores que afectan la mortalidad

Características físicas de la población	Características socioeconómicas	Factores Medio-ambientales	Factores personales
Edad	Ingreso	Niveles de contaminación atmosférica	Fumar
Genero	Ocupación	Niveles de Radiación	Nutrición
Raza	Densidad de la población	Características climatológicas	Genética
	Migración	Factores domésticos	Cuidados médicos

Dado lo anterior Lave y Seskin (1997) estimaron el siguiente modelo:

$$MR = \alpha_0 + \alpha_1 P + \alpha_2 S + \mu$$

donde:

$MR$  = es la tasa de mortalidad

$P$  = es la exposición acumulada de contaminación a que la población fue expuesta

$S$  = son las características socioeconómicas de la población

$\mu$  = Término de error

Este modelo nos permite conocer la relación entre la tasa de mortalidad y/o morbilidad de la población expuesta a los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos.

Los modelos econométricos que se estiman, basados en Pope III (1992) son los siguientes:

a) Mortalidad causada por infección respiratoria aguda

$$tasamort\ inf = \alpha_0 + \alpha_1 PM_{10} + \alpha_2 PM_{10}square + \alpha_3 wage + \alpha_4 wage^2 + \alpha_5 popshare + \alpha_6 ozono + \alpha_7 f_1 + \alpha_8 f_2 + \alpha_9 f_3 + \varepsilon$$

b) Mortalidad causada por neumonía

$$tasamortneum = \alpha_0 + \alpha_1 PM_{10} + \alpha_2 PM_{10}square + \alpha_3 wage + \alpha_4 wage^2 + \alpha_5 popshare + \alpha_6 ozono + \alpha_7 f_1 + \alpha_8 f_2 + \alpha_9 f_3 + \varepsilon$$

c) Morbilidad causada por infección respiratoria aguda

$$tasamorb\ inf = \alpha_0 + \alpha_1 PM_{10} + \alpha_2 PM_{10}square + \alpha_3 wage + \alpha_4 wage^2 + \alpha_5 popshare + \alpha_6 ozono + \alpha_7 f_1 + \alpha_8 f_2 + \alpha_9 f_3 + \varepsilon$$

d) Morbilidad causada por neumonía

$$tasamorb\ inf = \alpha_0 + \alpha_1 PM_{10} + \alpha_2 PM_{10}square + \alpha_3 wage + \alpha_4 wage^2 + \alpha_5 popshare + \alpha_6 ozono + \alpha_7 f_1 + \alpha_8 f_2 + \alpha_9 f_3 + \varepsilon$$

#### 4. Descripción de variables

Tabla IV.2  
Descripción de variables

Variable	Descripción
<b>mort inf</b>	Tasa mensual de mortalidad causada por infección respiratoria aguda
<b>mort neum</b>	Tasa mensual de mortalidad causada por neumonía.
<b>morb inf</b>	Tasa mensual de morbilidad por infección respiratoria aguda
<b>morb neum</b>	Tasa mensual de morbilidad causada por neumonía
<b>pm10</b>	Emisiones de partículas PM <sub>10</sub> promedio aritmético mensual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>pm10square</b>	Emisiones de partículas PM <sub>10</sub> promedio aritmético mensual al cuadrado
<b>Ozono</b>	Emisión de ozono a la atmósfera, promedio aritmético mensual (ppm)
<b>tmppaverage</b>	Temperatura promedio aritmético mensual ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>tmppmax</b>	Temperatura máxima alcanzada en un día durante un mes ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>tmppmin</b>	Temperatura mínima alcanzada en un día durante un mes ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>hpaverage</b>	Humedad relativa promedio aritmético mensual (%)
<b>hpmax</b>	Humedad relativa máxima alcanzada en un día durante un mes (%)
<b>hpmin</b>	Humedad relativa mínima alcanzada en un día durante un mes (%)
<b>wdraverage</b>	Dirección del viento promedio aritmético mensual (grados de azimut)
<b>wdrmax</b>	Dirección del viento máximo alcanzado en un día del mes (grados de azimut)
<b>wdrmin</b>	Dirección del viento mínimo alcanzado en un día del mes (grados de azimut)
<b>wspaverage</b>	Velocidad del viento promedio aritmético mensual (nudos)
<b>wspmax</b>	Velocidad del viento máximo alcanzado en un día del mes (nudos)
<b>wspmin</b>	Velocidad del viento mínimo alcanzado en un día del mes (nudos)
<b>popshare</b>	Población susceptible de enfermar menores de 5 años y mayores de 65
<b>density</b>	Densidad de la población
<b>schooldays</b>	Nivel de escolaridad promedio
<b>wage</b>	Salario promedio percibido
<b>wage2</b>	Salario promedio percibido al cuadrado
<b>Pm10ozono</b>	Termino cruzado de PM10 y Ozono (mezcla de contaminantes)

#### VARIABLES DE MORBILIDAD Y MORTALIDAD

Dockery en su estudio para Beijing comenta que si la contaminación atmosférica resultado de SO<sub>2</sub> y PST posee una asociación con la morbilidad diaria, ésta deberá estar ligada primero a las afecciones del sistema respiratorio. Es importante poseer información del diagnóstico específico de la enfermedad para obtener mejores resultados (Dockery, 1995).

Es necesario recordar que las PM<sub>10</sub> entran al organismo por medio del sistema respiratorio y que en la mayoría de los casos se alojan en los pulmones, ocasionando la

obstrucción de estos. El efecto nocivo de las partículas se debe a su gran capacidad de penetración, además de que son portadoras de sustancias tóxicas al interior del organismo. Los síntomas respiratorios ocasionados por las infecciones respiratorias agudas, son la principal causa, que se vincula a los efectos nocivos de las partículas, ya que como se mencionó dichas partículas ingresan al organismo vía sistema respiratorio.

En cuanto a la neumonía, esta es causada por las sustancias tóxicas que son transportadas y depositadas por las partículas que ingresan a los pulmones. Dado lo comentado en los párrafos anteriores, el presente análisis solo incluye afecciones del sistema respiratorio, tales como infecciones respiratorias agudas y neumonía. Ya que estos diagnósticos capturan dos de los principales efectos dañinos de las  $PM_{10}$ .

Es importante destacar que la salud no depende exclusivamente de la contaminación ambiental, sino también de otros factores como el modo de vida, la dieta, los genes o la edad. Si queremos aislar los efectos causados directamente por la contaminación atmosférica por  $PM_{10}$  debemos de tomar en cuenta todos los factores mencionados, ya que de no hacerlo corremos el riesgo de atribuir a la contaminación efectos que en realidad obedecen a otras causas (por ejemplo, el tabaco).

Lo anterior exigiría disponer de un gran número de datos específicos sobre la salud, así como sobre los numerosos factores que incrementan el riesgo de la enfermedad en cuestión. Es por ello que en el presente estudio se incluyen variables socioeconómicas con el fin de tratar de controlar los demás factores que hacen mayor el riesgo de morir o enfermar. Sin embargo no es posible tomar en cuenta todos estos factores dado que se no cuenta con información suficiente al respecto.

Los datos de mortalidad se obtuvieron de los registros de defunciones registradas (certificados de defunción) en cada una de las delegaciones y municipios que integran la ZMVM (INEGI-Departamento de Mortalidad). Las tasas de morbilidad están integradas por consultas registradas en hospitales y clínicas del sector público (SSA, IMSS, ISSSTE, IMSS Solidaridad, DIF, PEMEX, SEDENA, SEDEMAR) (CNE-IRAS).<sup>1</sup>

Para integrar la causa de infecciones respiratorias agudas, se consideraron las siguientes enfermedades de acuerdo a la clasificación internacional de enfermedades (CIE) de la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>2</sup>:

Tabla IV.3  
Causas que integran las infecciones respiratorias agudas

<b>9ª. Revisión.</b>	<b>10ª. Revisión</b>	<b>Nombre de la causa</b>
460	J00	Rinofaringitis aguda
461	J01	Sinusitis aguda
462	J02	Faringitis aguda
463	J03	Amigdalitis aguda
464	J04	Laringitis y traqueitis agudas
464	J05	Laringitis obstructiva aguda y epiglotitis
465	J06	Infección aguda de las vías respiratorias superiores, de sitios múltiples y no especificados
466	J20	Bronquitis aguda
466	J21	Bronquiolitis agudas con broncoespasmos
----	J22	Infección aguda no especificada de las vías respiratorias inferiores

Las enfermedades que se consideraron dentro de neumonía son las siguientes:

<sup>1</sup> Las tasas de mortalidad y morbilidad se expresan en número de casos por cada 100 000 habitantes

<sup>2</sup> La CIE-9 fue publicada en 1979 más tarde se publicó CIE-10 en 1994, es por ello que se presenta las equivalencias en la clasificación de las enfermedades consideradas.

Tabla IV.4  
Causas que integran la neumonía

9 <sup>a</sup> . Revisión.	10 <sup>a</sup> . Revisión	Nombre de la causa
480	J12	Neumonía viral, no clasificada en otra parte
481	J13	Neumonía debida a estreptococcus
482	J15	Neumonía bacteriana
483	J16	Neumonía debida a otros microorganismo infecciosos
484	No es de mortalidad	** En la 10 revisión no esta en la clasificación para mortalidad.
485	J18	Neumonía causada por organismos no especificados
486	J18	Neumonía causada por organismos no especificados

### Variabes de emisiones del contaminante

Las emisiones de partículas PM<sub>10</sub> esta expresadas en unidades de microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Los datos se obtuvieron de la página de internet<sup>3</sup> del Instituto Nacional de Ecología, de sus publicaciones electrónicas sobre datos históricos de contaminantes atmosféricos (PM<sub>10</sub>) de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). La asignación de los valores de PM<sub>10</sub> de las distintas estaciones de monitoreo a las delegaciones y municipios, se realizó de acuerdo a la distribución espacial establecida en el estudio la dispersión de la partículas para la ZMVM (O'Neill, 2002).

Debido a que la contaminación del algún periodo pasado afecta también a la salud en el presente, es necesario incorporar rezagos en esta variable. Se incorporaron tres rezagos de PM<sub>10</sub>, los cuales son mensuales es decir el  $pm_{10\_1}$  es la contaminación del mes anterior,  $pm_{10\_2}$  es la contaminación del mes antepasado y  $pm_{10\_3}$  es la contaminación de antepenúltimo mes.

Las emisiones de ozono esta representado en unidades de partículas por millón (ppm) los datos de las concentraciones del ozono se obtienen de RAMA. La variable de

<sup>3</sup> <http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/lineas/tendencias/zmvm/pm10.html>

*ozono*, se introduce al modelo a fin de separar el efecto en salud, ocasionado por  $PM_{10}$  y el derivado del ozono. Además se introduce un término cruzado de  $PM_{10}$  y ozono *pm10ozono*, para con ello controlar por el efecto de la mezcla de estos dos contaminantes, que como se comentó potencializa los efectos tóxicos de los mismo.

### **Variables de parámetros meteorológicos**

Los datos de los parámetros meteorológicos (humedad, temperatura, velocidad del viento y direcciones del viento) se obtuvieron de la pagina en internet<sup>4</sup> del sistema de monitoreo atmosférico de la Ciudad de México (REDMET). Estas variables no se introducen en el modelo econométrico, debido a que existe la presencia de correlación entre las variables meteorológicas. Para evitar este problema se realizó un análisis factorial de estas variables y se obtuvieron tres factores ( $f_1, f_2, f_3$ ), introducirlos al modelo permite, eliminar el problema de correlación entre las variables y controlar por medio de estas.

Vale la pena mencionar que el análisis factorial (AF), es una aproximación estadística que puede usarse para analizar interrelaciones entre un gran número de variables y explicar estas variables en términos de sus dimensiones subyacentes comunes (factores). El objetivo es encontrar un modo de condensar la información contenida en un número de variables originales en un conjunto más pequeño de variables (factores) con una pérdida mínima de información (Hair, 1999).

El AF considera que las correlaciones entre las variables no son aleatorias sino que se deben a la existencia de factores comunes entre ellas. Un AF resulta adecuado cuando existen altas correlaciones entre las variables, el análisis de la matriz de correlaciones es el

---

<sup>4</sup> <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnredmet2.htm>



primer paso a seguir. Para llevar a cabo el análisis factorial de los parámetros meteorológicas se consideraron los valores promedio, máximo y mínimos de la humedad, temperatura, velocidad y dirección del viento, del presente análisis se obtuvieron tres componentes principales (ver anexo B).

### **Variables socioeconómicas**

Se consideró como población expuesta a los habitantes de la ZMVM por cada delegación y municipio. Esta variable se integró partiendo de los Censo de Población y Vivienda de 1990 y el 2000 que presentan la población de cada delegación y municipios de la ZMVM (INEGI.a), y se obtuvo una tasa de crecimiento (se asume constante) de la población anual, con la cual se generó la población mensual para cada delegación y municipio de los distintos grupos de edad (tasa anua/12 meses).

Se asume el supuesto de que no hay desplazamiento de la población, es decir que la población que reside en una determinada delegación o municipio solo es afectada por la contaminación que se emite en su localidad. Es un supuesto muy fuerte pero no se cuenta con información suficiente para relajarlo.

Con la variable *popshare*, se intenta controlar por grupo susceptible a la enfermedad, esta variable esta compuesta de la población expuesta, menor a 5 años y mayor a 65 años. Vale la pena recordar que estos grupos de población tienen mayor posibilidad de enfermar que los individuos fueran de estos grupos. Esto se debe a que sus sistemas inmunológicos no han alcanzado la madurez para el caso de los niños o bien ha sido deteriorado por el paso de los años, para el caso de los ancianos.

Lo anterior lleva a considerar la importancia de esta variable, ya que dichos grupos de la población poseen altas posibilidades de enfermar y es posible que no sea ocasionado solo por la contaminación atmosférica de  $PM_{10}$ , sino debido a sus condiciones particulares de salud. En cuanto a la densidad de la población expuesta a la contaminación atmosférica se construyó dividiendo la población expuesta total entre la superficie en  $km^2$  de cada una de las delegaciones y municipios de la ZMVM. Esta variable se excluye del modelo por presentar correlación con *popshare*.

Para construir la variable *wage* se tomó la distribución según ingreso por trabajo en salario mínimo diario ponderado de la población expuesta (INEGI,1990,2000) para obtener un salario promedio diario y a partir de ello se obtuvo la tasa de crecimiento de este salario promedio para después obtener el salario promedio diario por cada delegación y municipio de la ZMVM. El salario mínimo de 1990 se actualizó, a través del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) de noviembre del 1990 y el INPC de diciembre del 2000, para llevarlo a pesos del 2000.

También se incluye  $wage^2$  que consiste en el cuadrado de la variable anterior y cuya finalidad es intentar explicar el efecto marginal del salario. El nivel de escolaridad de la población expuesta no se incluye en el modelo econométrico por que presenta correlación con la variable de salario promedio. Los datos están ordenados en un panel que consta de 34 grupos (delegaciones y municipios) de 81 elementos (ene-95 a dic-01), se cuenta con 2754 observaciones.

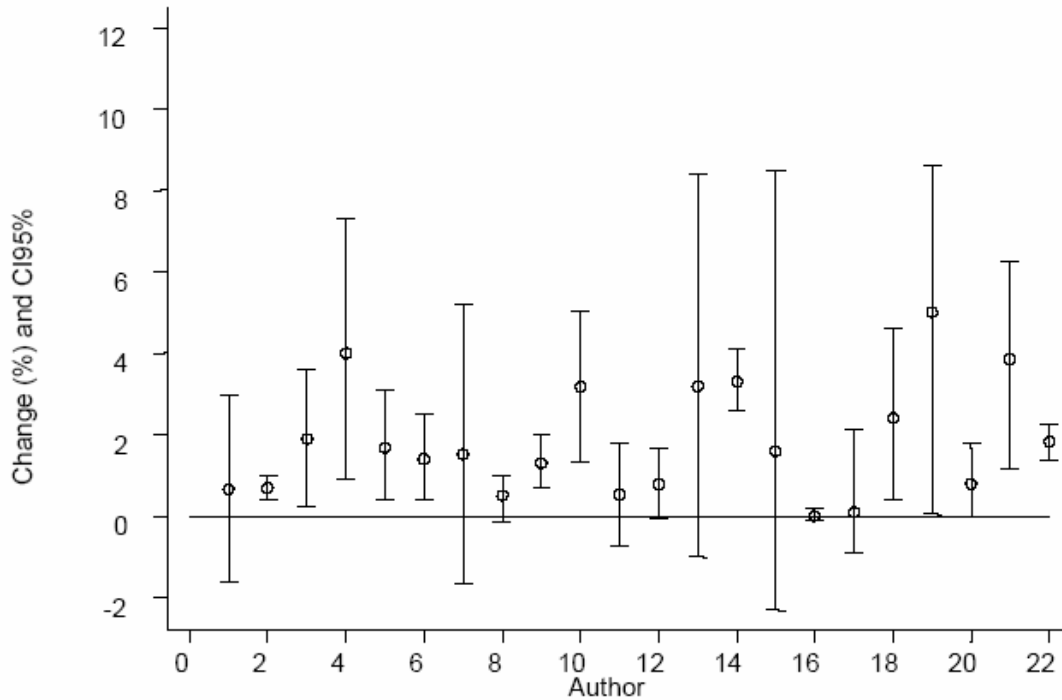
## 5. Resultados Esperados

Se espera que la asociación entre  $PM_{10}$  y la tasa de mortalidad causada por enfermedad infecciosa respiratoria y neumonía, sea positiva y significativa. Es decir que los aumentos en los niveles de concentración de  $PM_{10}$  en la ZMVM, generen un aumento en la tasa de mortalidad por las causas mencionadas. De la misma manera se espera que la relación entre las concentraciones de  $PM_{10}$  y la tasa de morbilidad causada por enfermedad infecciosa respiratoria y neumonía, sea positiva y significativa.

En la figura III.1 tomada del meta-análisis de los distintos estudios sobre los efectos en la salud causados por la exposición a  $PM_{10}$  de Borja (1999), se puede apreciar que un aumento en las muertes por causa respiratoria se relaciona con distintos niveles de  $PM_{10}$ . Los incrementos se mantienen en un rango de 0.4 a 5.0% de incremento en la mortalidad por cada  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de incremento en  $PM_{10}$ . Sin embargo, los estudios realizados por Simpson et al (1997) presentan un incremento del .01% y el estudio de Sunyer et al (1996) muestra 0.09% los cuales muestran incrementos en la mortalidad muy bajos comparados con los otros estudios (Borja, 1999).

Figura IV.1

Tasa de cambio esperado en la mortalidad por causa respiratoria, por  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  de incremento en  $\text{PM}_{10}$ .



Fuente: Borja, 1999.

Nota: Los números representa los siguientes estudios: 1. Anderson 1996 (Londres), 2. Ballester 1996, (Valencia), 3. Borja-Aburto 1997 (México), 4. Brenner 1999 (Londres), 5. Dab 1996 (París), 6. Ito 1996 (Chicago), 7. Neas 1999 (Philadelphia), 8. Ostro 1995b (California), 9. Ostro 1996 (Santiago), 10. Pope III 1999 (Ogden), 11. Pope III 1999 (Provo), 12. Pope III 1999 (Utah), 13. Schwartz 1994c (Cincinnati), 14. Schwartz 1992b (Philadelphia), 15. Schwartz 1993a (Birmingham), 16. Simpson 1997 (Brisbane), 17. Sunyer 1996 (Barcelona), 18. Vigotti 1996 (Milan), 19. Wordley 1997 (Birmingham), 20. Zmirou 1996 (Lyon), 21. Castillejos 2000 (México), 22. Pooled estimated.

Por lo anterior se espera que exista una positiva relación entre las tasas de mortalidad y/o morbilidad y las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$ , en la ZMVM y esta relación debe fluctuar en el rango encontrado en los estudios antes señalados.

En cuanto al salario promedio, *wage*, se espera que presente un signo negativo y sea significativo. Esto nos indica que las personas con mayores ingresos tenderán a enfermar o morir en menor medida que las personas de ingresos menores, por las causas ya mencionadas.

Las variables meteorológicas de humedad, velocidad del viento, dirección del viento y temperatura, se espera en relación con la humedad un signo negativo, dado que si hay la presencia de humedad en el ambiente, la volatilidad de las partículas  $PM_{10}$  disminuye y queda suspendida en el aire por menos tiempo, y de esta forma el efecto en las personas es menor.

En cuanto a la temperatura se espera una relación significativa de signo negativo, ya que es bien conocido que si la temperatura disminuye, se incrementarán los casos de afecciones respiratorias. No se puede olvidar que la interacción de los contaminantes atmosféricos con la humedad y temperatura, llevan a cabo una modificación de éstos y potencializan sus efectos tóxicos (Dockery, 1995).

Para la variables *popshare* se espera que sea significativa y de signo positivo, esto nos permitirá constatar que existen grupos de la población que son más propensos a enfermar.

En conclusión en este capítulo se presentó el modelo para estimar la asociación entre cambios en la salud y la contaminación atmosférica por  $PM_{10}$  se describieron las variables a utilizar y los resultados esperados. A continuación describe el modelo econométrico y se analizan los resultados obtenidos.