

SALUD AMBIENTAL Y CALIDAD DEL AIRE

Dra. Leonora Rojas Bracho

Dirección General de Investigación sobre la
Contaminación Urbana, Regional y Global
INE/SEMARNAT

**Instituto del IAI sobre urbanización y cambio
ambiental global en América Latina**

4 de octubre, 2004

Contenido

1. Episodios históricos de contaminación del aire
2. Estudios de impactos en salud por exposición aguda y crónica
3. Medidas de control de la contaminación atmosférica
 - 3.1. El transporte en las olimpiadas de Atlanta
 - 3.2. Combustibles y contaminación del aire:
 - Dublín (carbón)
 - Hong Kong (combustóleo)
 - ZMVM (gasolina, co-beneficios)

Impactos en salud y contaminantes atmosféricos

- **Evidencia internacional:**
 - Episodios de contaminación, por ejemplo, Valle del Mosa, Donora, Londres
 - Estudios de series de tiempo en más de 100 ciudades en el mundo con rango amplio de concentraciones, incluso por debajo de estándares
 - Estudios de cohorte
- **Evidencia generada en la ZMVM**
 - Estudios con resultados congruentes

1. Episodios históricos de contaminación del aire

Episodios de contaminación y mortalidad

Evidencia suficiente de los efectos de los **episodios** en la **salud humana**:

1. Valle de Mosa, Bélgica 1930

Emisiones: hornos de carbón, industria de vidrio y ácidos de azufre

- 60 muertes (10 x la tasa de mortalidad normal)

2. Donora, Pensilvania 1948

Emisiones: industria de ácidos de azufre, acero y zinc

- Niveles de SO_2 de $5,500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 20 muertes en 3 días

3. Episodio de Londres 1952

Episodio de Londres

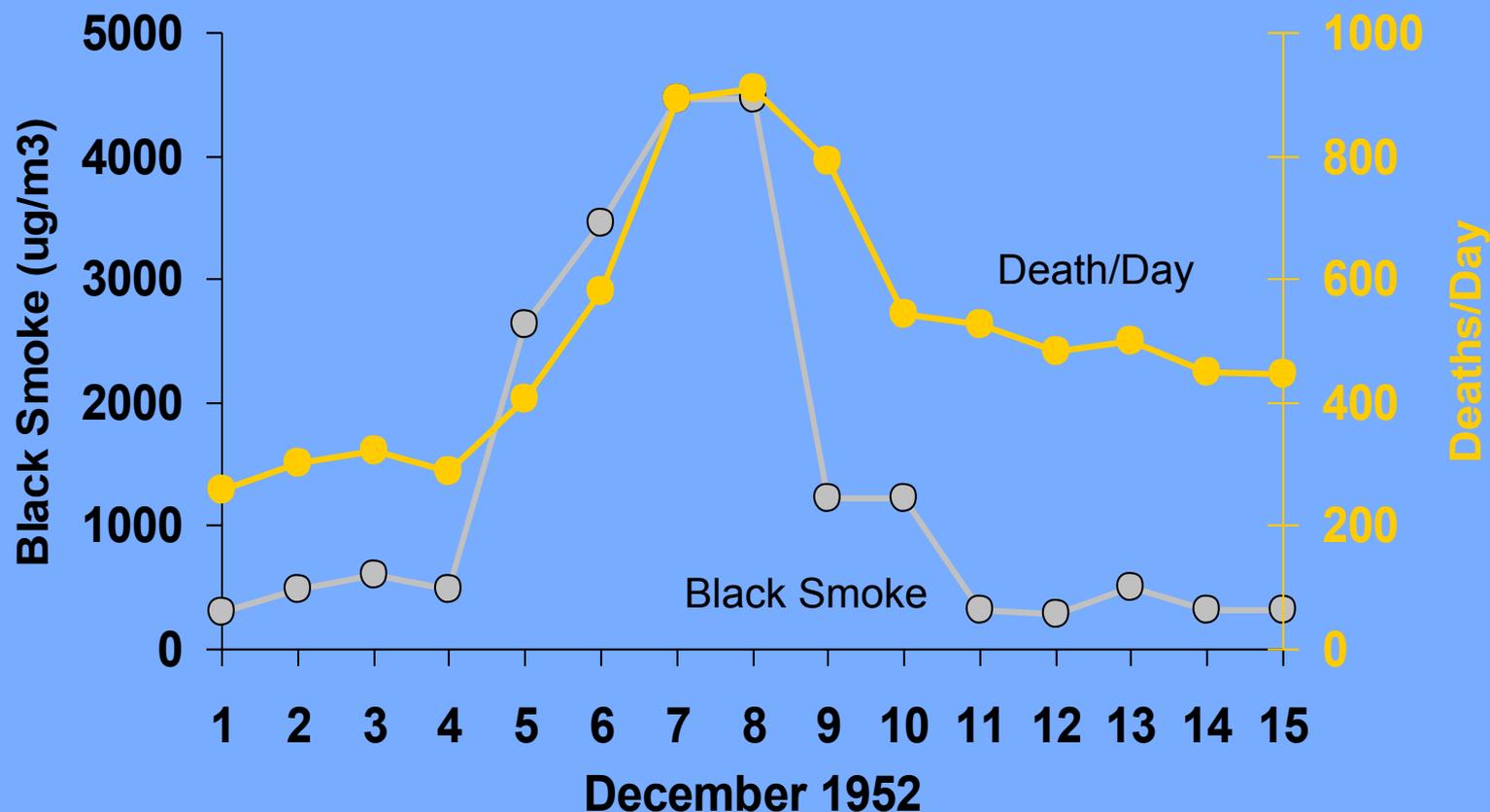
Diciembre 6-8, 1952



- Parteaguas de estudios de los impactos a la salud
- Causas principales:
 - Emisiones: uso de carbón para calentar las casas y para termoeléctricas
 - Inversión térmica
- Elevados niveles de partículas y SO_2
- Impactos *agudos* y *crónicos* a la salud:
 - Aumento en hospitalizaciones por enfermedades respiratorias: 163% en la semana siguiente
 - Incremento en la incidencia de neumonías: ~ 300%
 - Incremento en muertes: 12,000 en los 3 meses posteriores al evento

Episodio de Londres

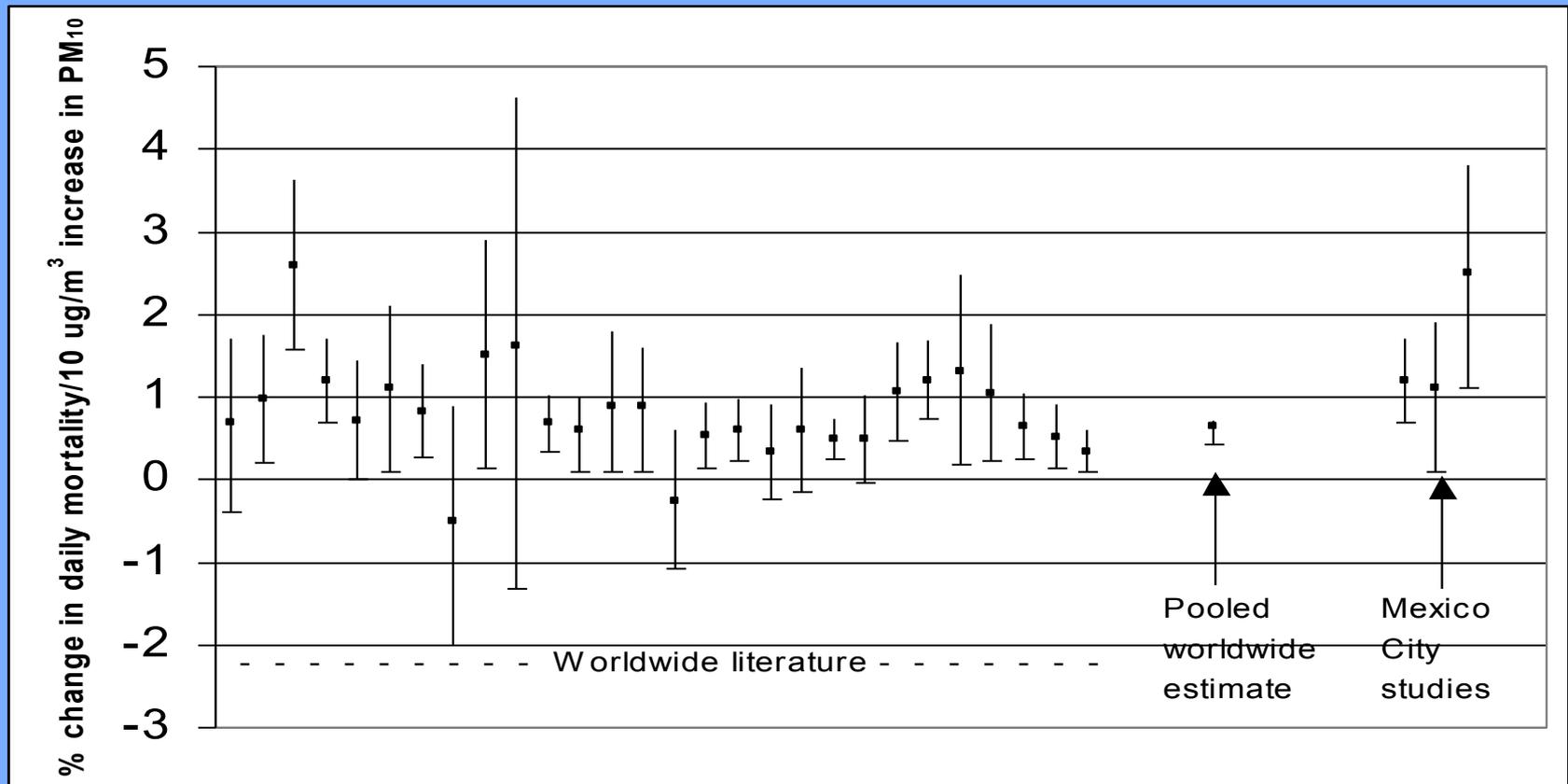
Diciembre 6-8, 1952



2. Estudios de impactos en salud por exposición aguda y crónica

Estudios de series de tiempo:

cambios en la mortalidad diaria asociados con niveles de PM_{10}
 (meta-análisis por Levy, JAWMA 2000)

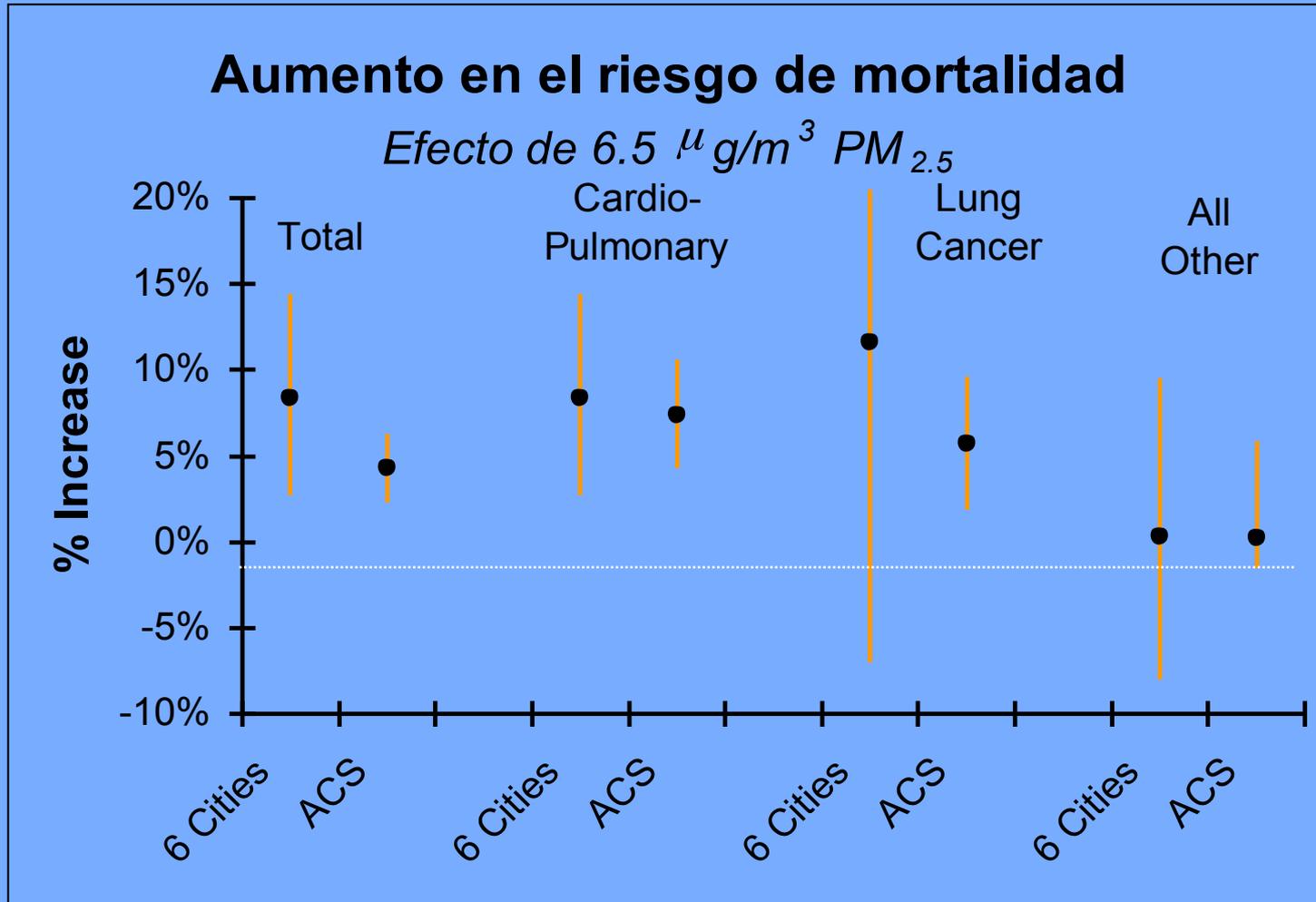


Estudios de series de tiempo en la ZMVM

Estudio	Borja 1997	Borja 1998	Loomis 1999	Castillejos 2000
Indicador efecto	D.F.	Suroeste	Suroeste	Suroeste
	1990-1992	1993-1995	1993-1995	1993-1995
Mort. total	1.20%	1.10%	-	2.50%
(IC 95%)	(0.7%, 1.7%)	(0.1%, 1.9%)	-	(1.1%, 3.8%)
Mort. en < 1 año	-	-	3.90%	-
(IC 95%)	-	-	(-0.3%, 8.2%)	-
Mort. respiratoria	1.90%	1.10%	-	6.40%
(IC 95%)	(0.3%, 3.7%)	(NS, 3.9%)	-	(2.2%, 10.6%)
Mort. cardiovascular	1.00%	2.10%	-	-
(IC 95%)	(0.2%, 2.0%)	(0.4%, 3.8%)	-	-

- Téllez-Rojo (2000) efecto en >65 años
- Escamilla (2000) asociación con CO
- O'Neill (2002) asociación con factores socio-económicos

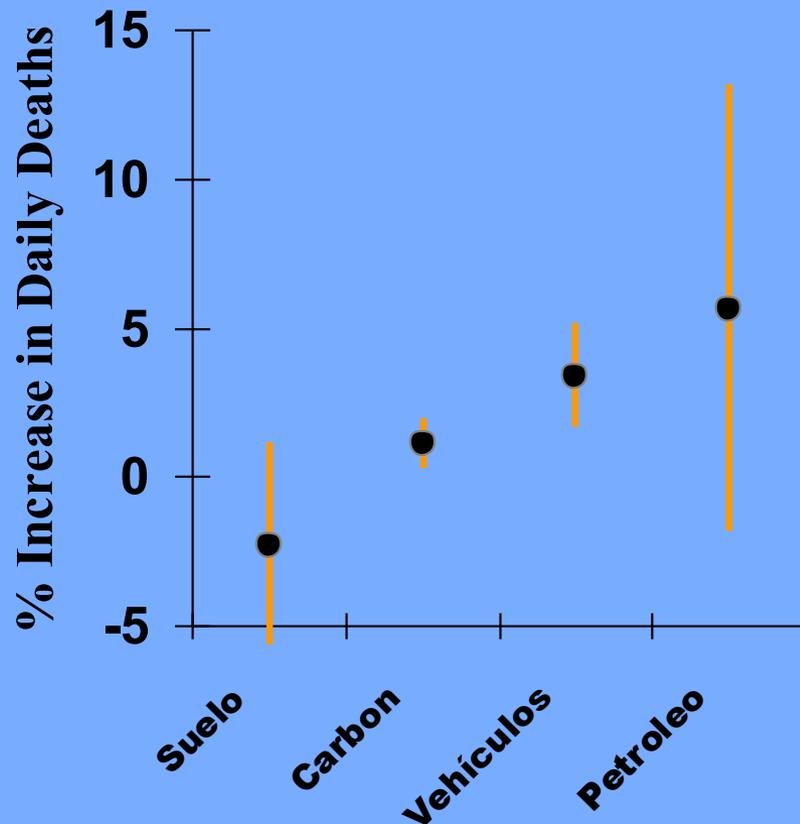
Estudios de cohorte: mortalidad por exposición crónica a PM



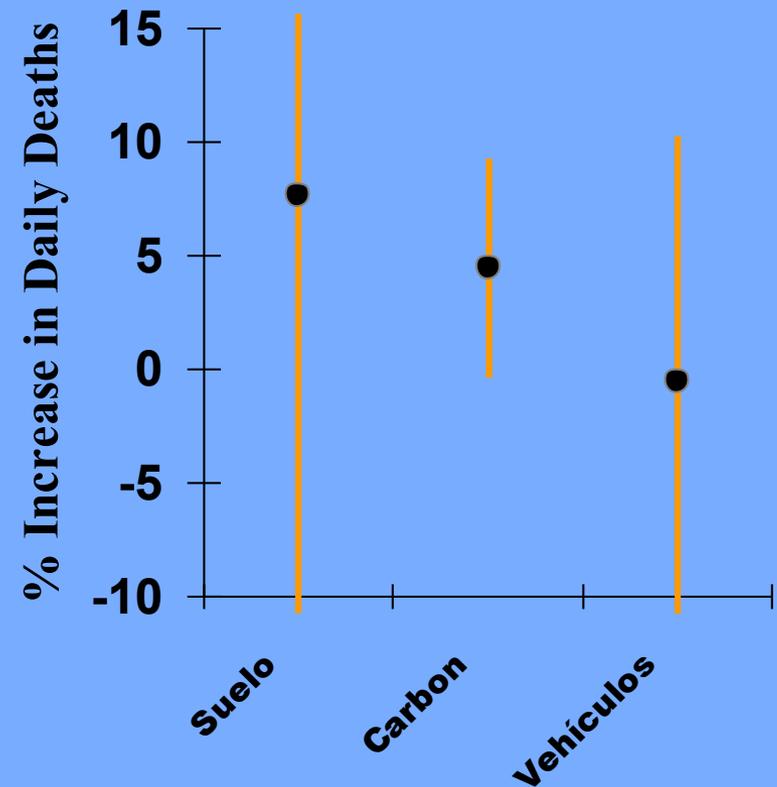
Mortalidad asociada con la fuente de emisión de PM

(Six Cities, Laden et al., 2000)

Enfermedades cardiovasculares



EPOC y neumonía



Y estudios en población infantil



Woodruff et al:

- EUA
- Estudio de cohorte con seguimiento de 2 meses

Bobak y León:

- República Checa
- Estudio de series de tiempo

Romieu et al:

- Ciudad Juárez, Chihuahua
- Estudio de casos cruzados (transversal)
- Mortalidad por exposición aguda (3, 5 y 7 días)
- Sugiere un incremento de mortalidad en población de entre 1 mes y un año de edad del grupo socioeconómico (marginalidad) bajo
- ¿Problemas de poder por tamaño muestral?

“Ruido” en las asociaciones entre contaminación y salud

Variables



confusores: tabaquismo, otros contaminantes

modificadores de efecto: nivel socioeconómico, edad

Efectos en salud (3)

Partículas suspendidas y mortalidad

Resultados de estudios de series de tiempo



Estudios en la ZMVM:

- Estimador compuesto
 - incremento de 1.4% en la mortalidad/10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración ambiental de PM_{10}

Estudios en otros países:

- NMMAPS, EUA (Samet et al., 2000)
 - incremento de 0.5% en mortalidad/10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10}
- Meta-análisis de 30 estudios internacionales (Levy et al., 2000)
 - incremento de 0.7% en mortalidad/10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10}
- Re-análisis NMMAPS
 - reducción de 50% por errores en la convergencia de los modelos estadísticos

Efectos en salud (4)

Partículas suspendidas y mortalidad

Resultados de estudios longitudinales



- Coincidencia con series de tiempo en la asociación con PM_{10} y $PM_{2.5}$
- Re-análisis del *Health Effects Institute*
 - *Harvard Six Cities*
 - Incremento de 13.3% por cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$
 - *American Cancer Society*
 - Incremento de 4.6% por cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$

Valoración económica

Reducciones en PM₁₀ y ozono

Estudios del Banco Mundial y Evans et al. (2002)

- **Efectos:**

Morbilidad: irritación de ojos, enfermedades respiratorias, efectos cardiovasculares, bronquitis crónica, días de actividad restringida

Mortalidad: aguda y crónica

- **Beneficios:**

Reducción del costo de enfermedad y de pérdidas de productividad, disposición a pagar por efectos en salud

Valoración económica (2)

Resultados del Banco Mundial (2002) y Evans et al. (2002)

Estimadores centrales para los dos estudios de beneficios anuales por 10% de reducción de:

- O_3
 - Entre **75 y 200 millones** de dólares
- PM_{10}
 - Entre aproximadamente **650 millones y 2 mil millones** de dólares
- PM_{10} y O_3
 - Entre **760 y 2,200 millones** de dólares

3. Medidas de control de la contaminación atmosférica

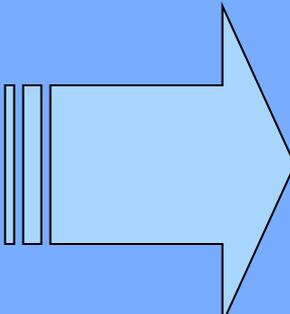
3.1. El transporte en las olimpiadas en Atlanta

El automóvil: fuente de emisión de contaminantes del aire

Transporte

- El transporte es la fuente principal de emisiones al aire en zonas urbanas
- En la ciudad de México (GDF, 2000):

CO	99%
PM2.5	80%
NOx	80%
COVs	45%
SO2	29%



Evidencia internacional: tráfico, aire e impactos a la salud



Transporte

- Austria, Francia y Suiza: 3% de las muertes (20 mil) se asocia con la contaminación del aire proveniente del tráfico (*Kunzli et al., 2000*).
- Italia: la proximidad a calles con mucho tráfico resulta en aumentos del 70% de bronquitis, 80% de neumonía y 10% de síntomas de asma en niños (*Cicchione et al., 1998*).
- Inglaterra: niños viviendo cerca de calles experimentan sibilancias con más frecuencia (*Ven et al., 2001*).
- Holanda: el riesgo de morir de una enfermedad cardiovascular y pulmonar es 2 veces más alto para personas viviendo cerca de calles principales (*Hoek et al., 2002*).

Contaminación del aire debido al transporte



Transporte

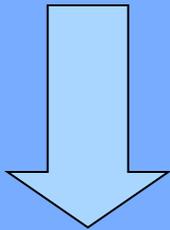
Factores que contribuyen a la problemática:

- Número de viajes
- Distancias recorridas
- Tamaño de la flota vehicular
- Cultura y modos de transporte
- Velocidad promedio
- Tecnologías de los vehículos
- Calidad de combustibles
- Rendimiento de combustible

Experiencia de Atlanta durante las Olimpiadas

Transporte

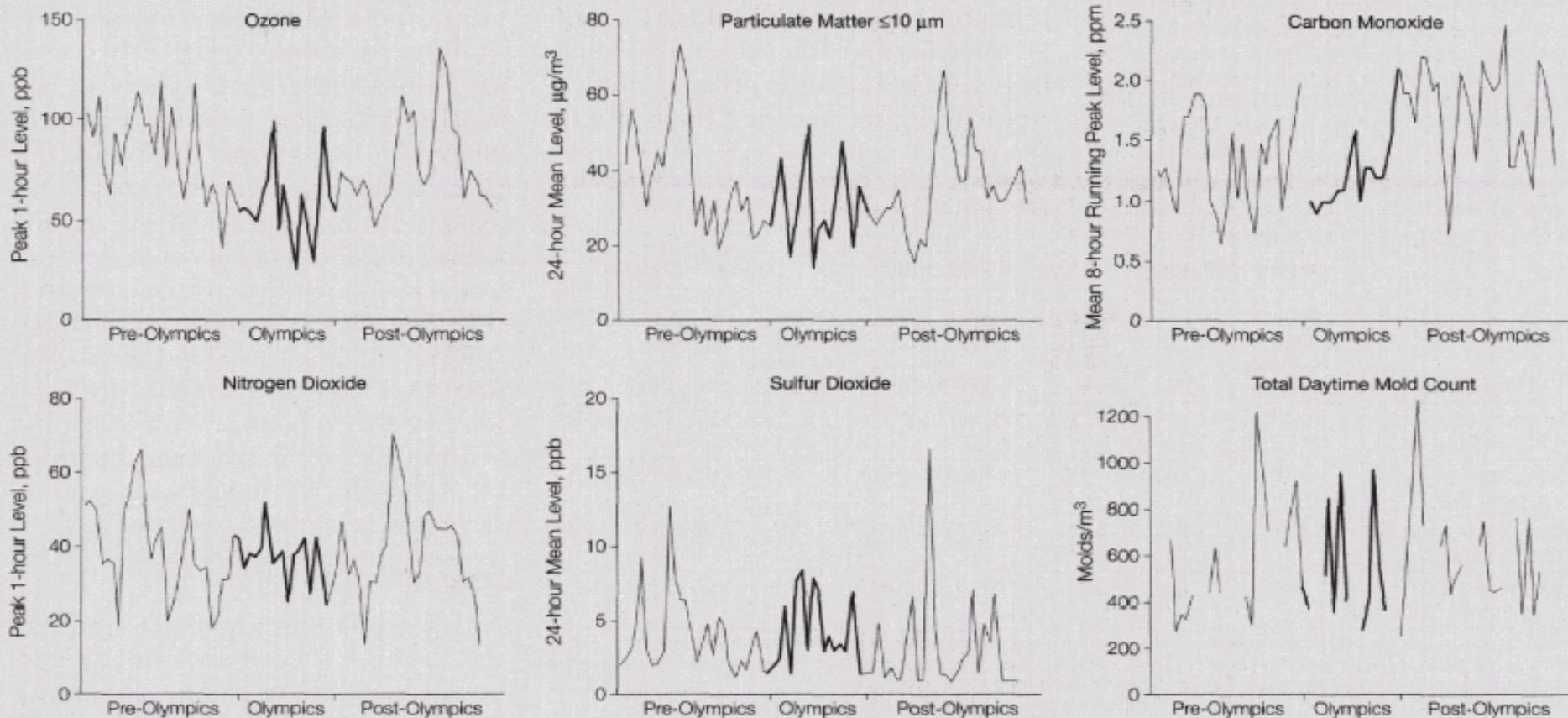
- Instrumentación de plan integral para minimizar el tráfico olimpiadas de 1996
 - 1000 nuevos autobuses y 'park & ride' por 24 horas
 - Trabajo desde la casa y ajustes al horario de trabajo
 - Prohibición del uso del automóvil en el centro
 - Ajustes al horario de camiones de carga
- **Efectos:**
 - Disminución de la carga de tráfico en **23%**
 - Reducción de niveles de ozono en **28%**
 - Reducción de eventos agudos de asma en niños en **45%**



Impactos en la calidad del aire

Transporte

Figure 2. Daily Time Series of Individual Air Pollutant Levels and Mold Counts During the 1996 Summer Olympic Games and Baseline Period



Broken line indicates incomplete data (eg, mold counts were available weekdays only).

Impactos en la salud infantil

Transporte

Table 1. Acute Asthma Events and Acute Nonasthma Events Among Children and Youth During the 1996 Summer Olympic Games Compared With the 1996 Summertime Baseline Period

Data Source	Type of Asthma Event	Acute Asthma Events			Acute Nonasthma Events		
		Mean (SD) No. of Events Per Day			Mean (SD) No. of Events Per Day		
		Baseline Period [†]	Olympic Period [‡]	% Change	Baseline Period [†]	Olympic Period [‡]	% Change
Georgia Medicaid claims file	Emergency care and hospitalizations	4.23 (2.81)	2.47 (1.46)	-41.6	100.5 (18.6)	97.4 (16.4)	-3.1
Health maintenance organization	Emergency care, urgent care, and hospitalizations	1.36 (1.63)	0.76 (0.83)	-44.1	37.6 (19.6)	38.1 (18.4)	+1.3
Pediatric emergency departments	Emergency care and hospitalizations	4.77 (2.52)	4.24 (2.49)	-11.1	118.4 (20.5)	115.9 (15.9)	-2.1
Georgia Hospital Discharge Database	Hospitalizations	2.04 (1.53)	1.65 (1.50)	-19.1	19.7 (5.1)	19.9 (3.5)	+1.0

*Defined as June 21–July 18 and August 5–September 1, 1996.

†Defined as July 19–August 4, 1996.

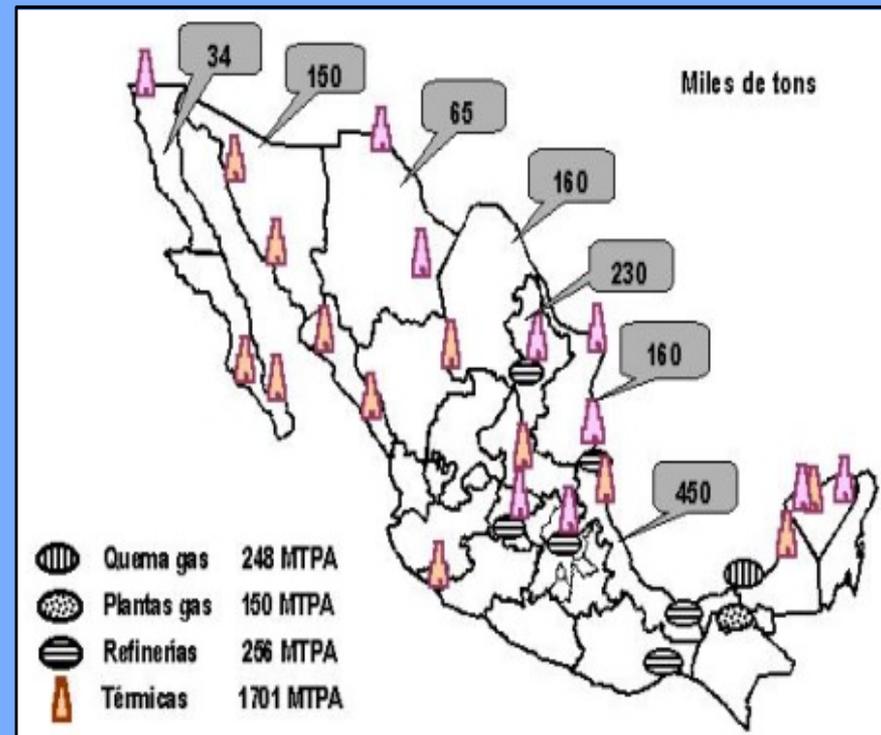
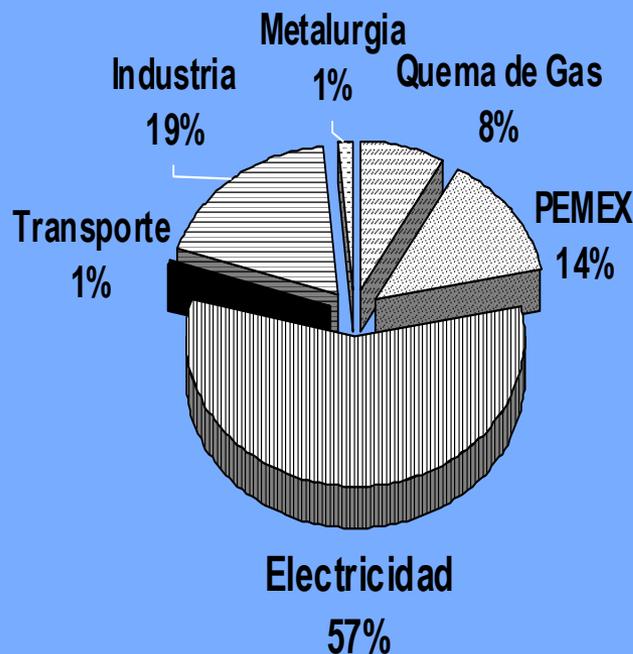
3.2. Combustibles y contaminación del aire en Dublín, Hong Kong y ZMVM

Energía y calidad del aire

Combustibles

- El uso y refinación de combustibles fósiles es la principal fuente emisora de contaminantes al aire

Figura 3. Emisiones totales de SO₂ en México, 2000. (Secretaría de Energía, 2002a)

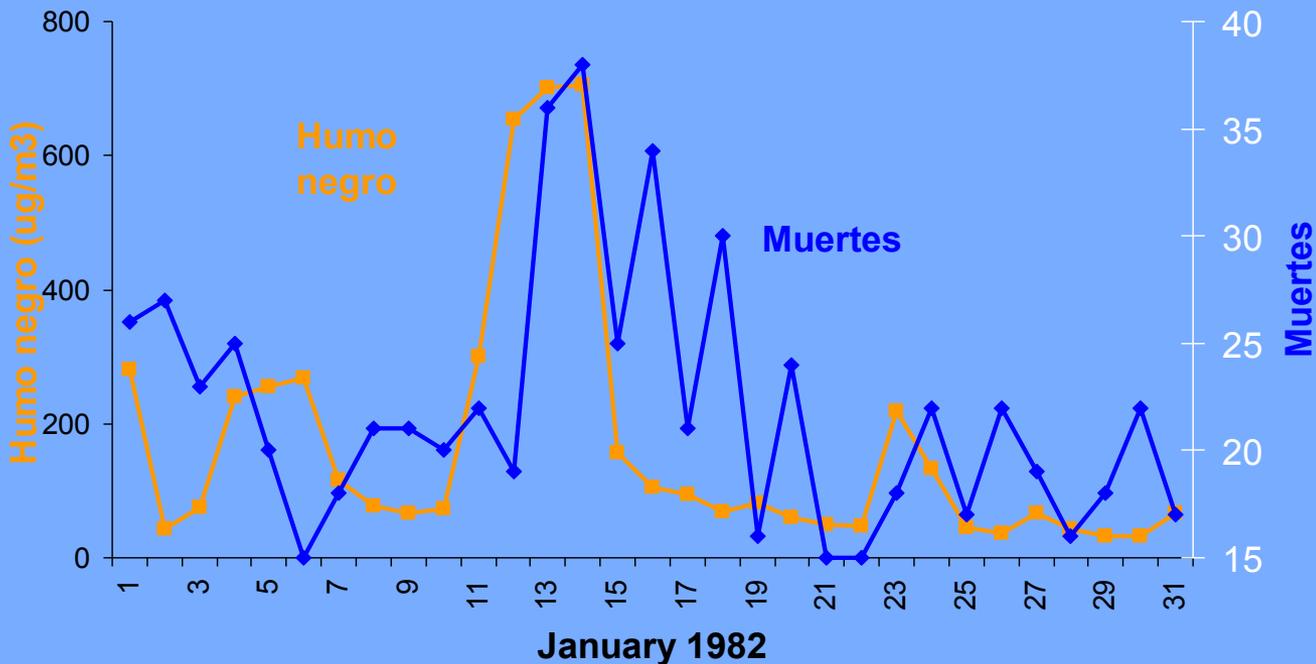


Uso de carbón en Dublín

Episodio de contaminación: Dublín, Condado de Borough, 1982 (Dockery, 2003)

Carbón

Uso de carbón para calentar las casas



Prohibición de ventas de carbón en Dublín

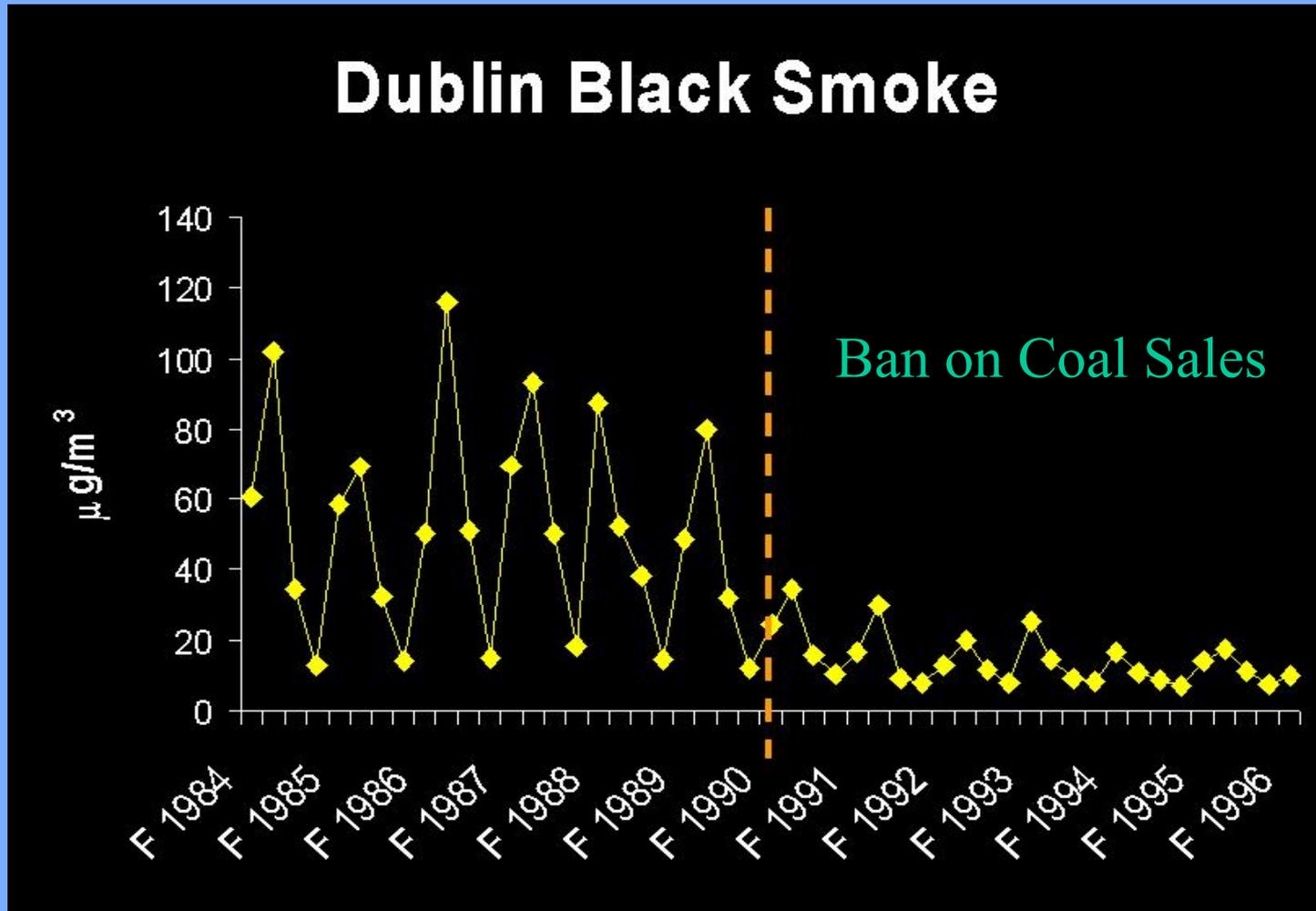


Carbón

- El 1° de septiembre de 1990 el gobierno irlandés prohibió la venta y distribución de carbón en el condado de Dublín Borough, es decir, en la ciudad de Dublín (*Air Pollution Act, 1987*).

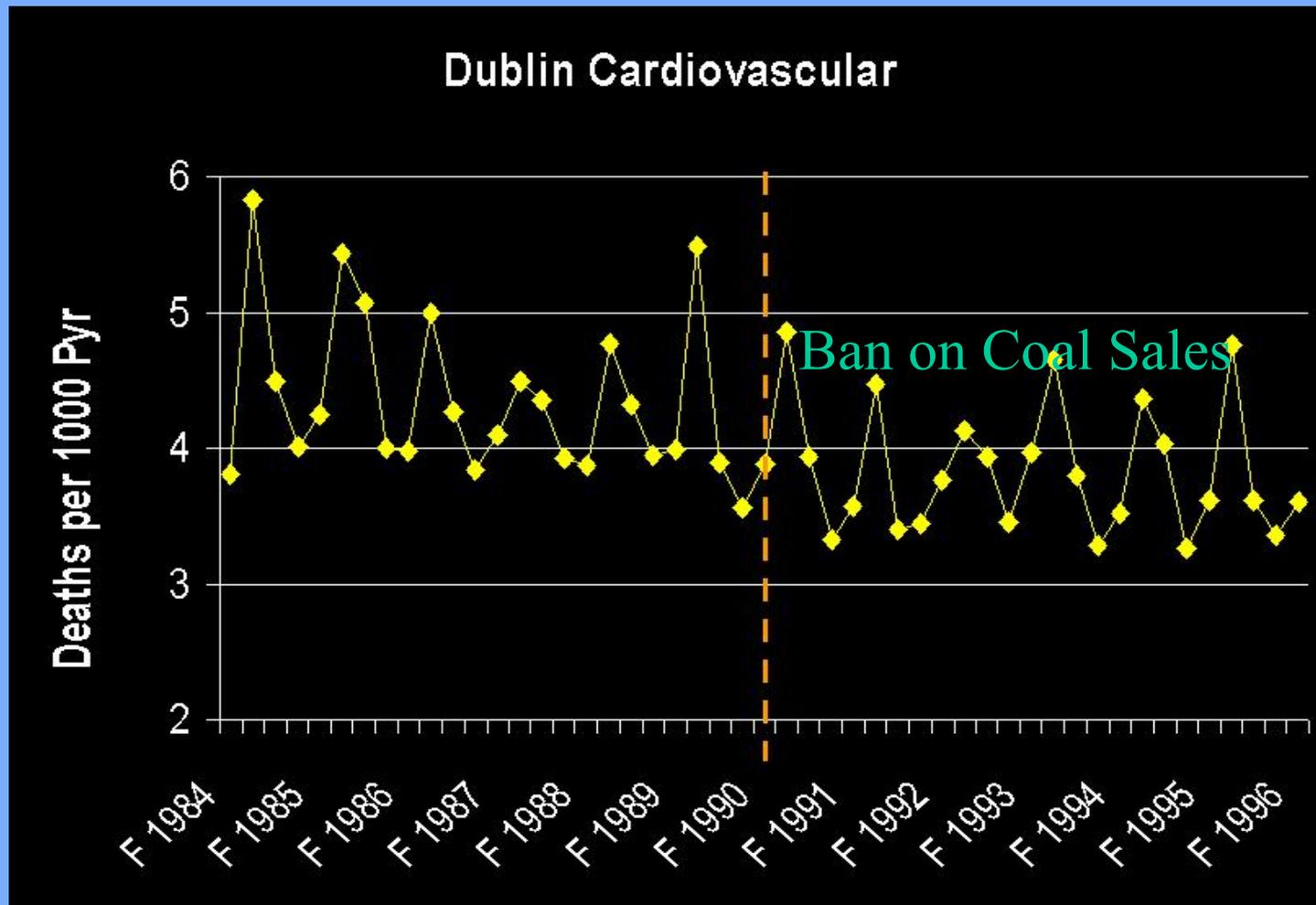
Impactos de la prohibición de las ventas de carbón en niveles de PM...

Carbón



...y en la mortalidad

Carbón



Mejoramiento de combustóleo en Hong Kong

Combustibles limpios: la experiencia de Hong Kong

(Hedley et al, 2002)



Combustóleo

Medida del gobierno a partir de julio, 1990:
restricción para obligar a las plantas termoeléctricas
y vehículos en circulación a utilizar combustóleo
con contenido de azufre menor a 0.5%

Efectos de la medida...

Combustóleo

- Reducciones en concentraciones de SO_2 y PM_{10} de hasta **80%** y **41%**
- Reducción de síntomas de bronquitis crónica en niños durante los 2 años siguientes
- Reducción en la tendencia anual de muertes por causas respiratorias en **5%**
- Ganancia de la esperanza de vida de 30 días

Impactos sobre la calidad del aire

Combustóleo

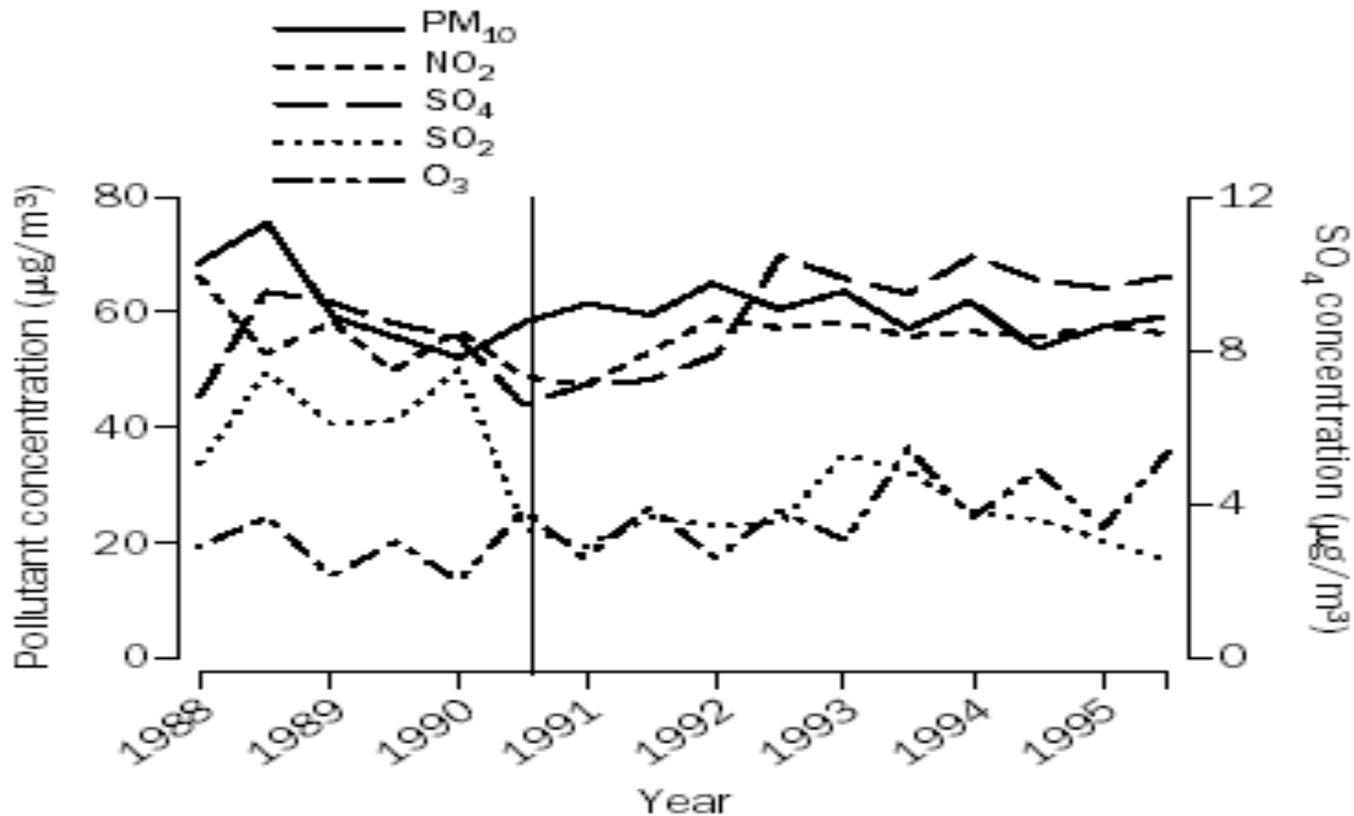


Figure 1: **Average of pollutant concentrations at five monitoring stations**

Vertical line represents date of introduction of fuel regulation.

Transporte/energía y calidad del aire

Conclusiones (1)



Combustóleo

El uso de energía, especialmente de combustibles fósiles, contribuye significativamente a la emisión de contaminantes atmosféricos.

El transporte es una de las fuentes principales de contaminación del aire en zonas urbanas.

En el caso de ciudades en las que se utiliza carbón y combustibles con alto contenido de azufre, su utilización implica grandes volúmenes de emisiones de contaminantes al ambiente.

Transporte/energía y calidad del aire

Conclusiones (2)



Combustóleo

Hay evidencia suficiente y clara de que exposición a estos contaminantes y el estar en proximidad a calles con alta densidad vehicular puede causar daños a la salud.

El caso de Atlanta muestra como medidas simples, pero coordinadas, pueden reducir la contaminación atmosférica y sus impactos en la salud.

El uso de combustibles más limpios puede reducir significativamente los impactos en el ambiente y, en consecuencia, en la salud.

Calidad de la gasolina en la ZMVM

Objetivo

Gasolina

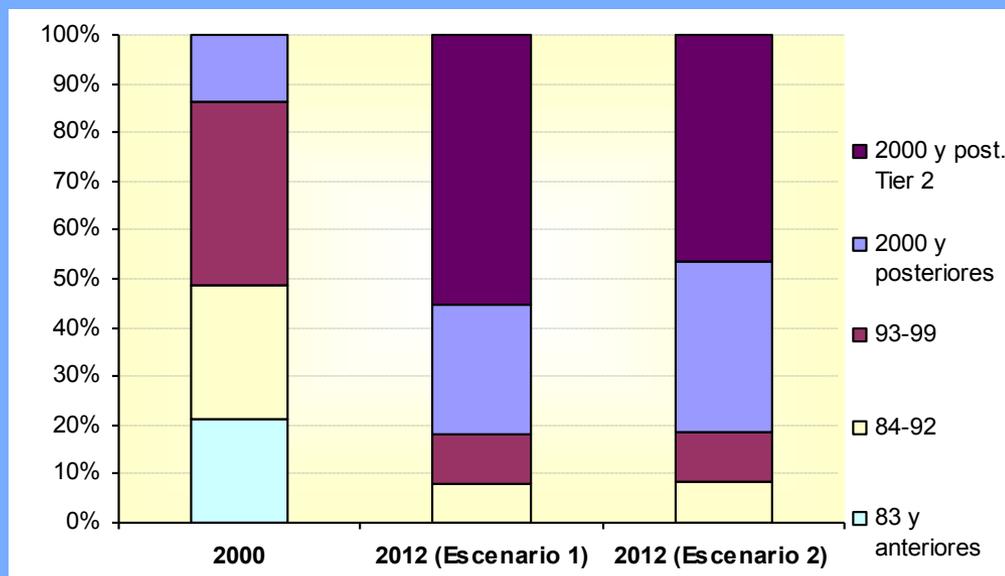
- **Realizar un análisis preliminar sobre los beneficios potenciales de la introducción de combustibles con bajo contenido de azufre en la salud de la población.**

Metodología (1)

Definición de la línea base

Gasolina

- Contenido actual de azufre en gasolina en la ZMVM (300/500 ppm)
- Flota vehicular proyectada a partir del Inventario de Emisiones de la ZMVM 1998
- Uso de factores de emisión provenientes de MOBILE 6, normatividad EPA y estudios IMP.



Metodología (2)

Supuestos para los escenarios futuros



Gasolina

Acuerdo SEMARNAT-SENER para la norma 086

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
PEMEX Premium	300/500								
		250/300							
				30 / 80					
PEMEX Magna ZMVM	300 / 500								
						30 / 80			
PEMEX Magna RP	1000								
			500						
						80			
PEMEX diesel	500								
				300					
						15			

Metodología (3)

Supuestos para los escenarios futuros



Gasolina

Introducción de gasolina de bajo azufre y vehículos con tecnología Tier 2

- **Reducción rápida**

(proyecto de NOM-086-SEMARNAT-SENER-2003, 6/ agosto/03)

- Enero 2004: Magna 300/500 ppm y Premium 250/300 ppm
- Enero 2006: Premium 30/80 ppm
- Septiembre 2008: Magna 30/80 ppm

- **Introducción de vehículos Tier 2**

- 2004-2007: tasa anual de 25%
- 2008: 100% de vehículos nuevos con tecnología Tier 2

Metodología (4)

Supuestos para los escenarios futuros

Gasolina

- **Vehículos Tier 0 y Tier 1:**
Reducción de emisiones con gasolina de 50 ppm:
HC y CO = 18%; NO_x = 9%
- **Vehículos Tier 1 y 2:**
Todos los vehículos nuevos utilizan la gasolina disponible en el mercado con el menor contenido de azufre (Premium)

Metodología (5)



Supuestos para los escenarios futuros

Gasolina

- **Vehículos Tier 2:**

- Gasolina > 300ppm:**

- Se incrementan emisiones de HC en 40%
 - Se incrementan emisiones de NOX 134%

- Gasolina > 30ppm:**

- Se incrementan emisiones en 5% a partir del segundo año
 - Se mantienen especificaciones de emisiones de la norma en la vida útil del automóvil usando gasolina de 30 ppm

Metodología (6)

Supuestos para los escenarios futuros

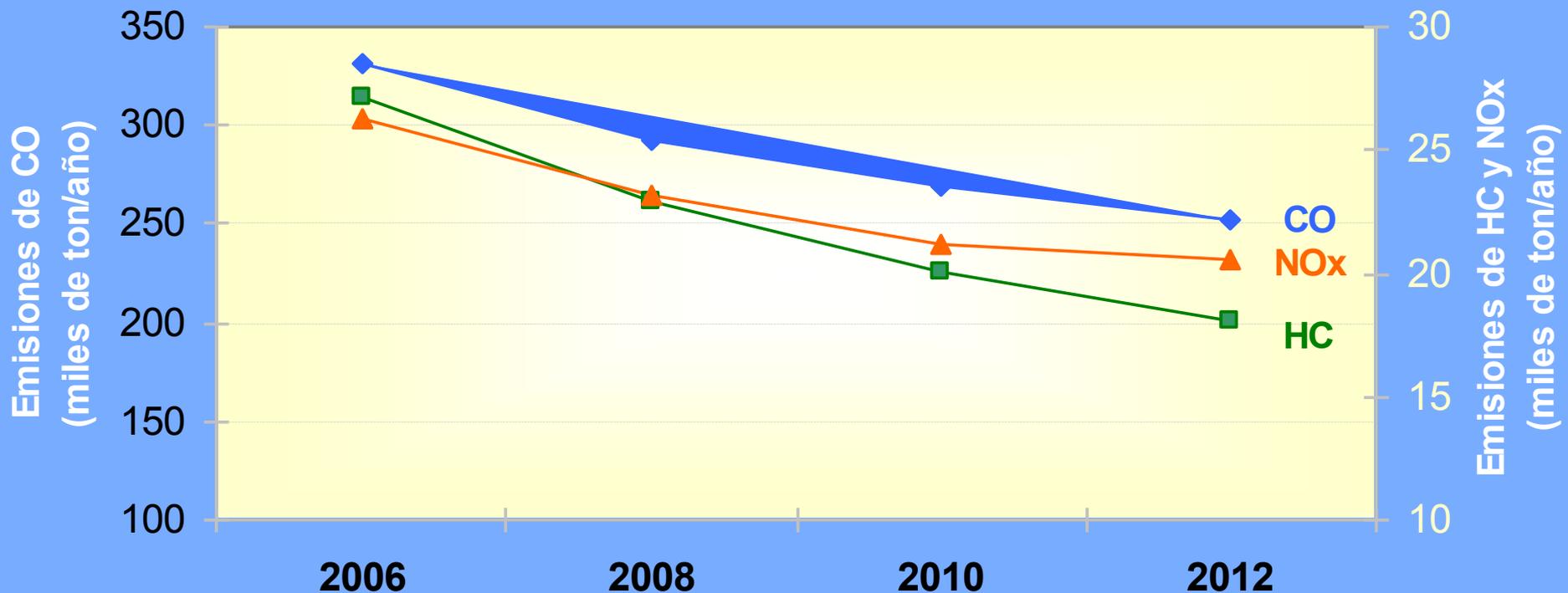
Gasolina

- Emisiones de partículas no se afectan por la introducción de tecnología y la disminución en el contenido de azufre de la gasolina

Estimación de emisiones (1)

Gasolina

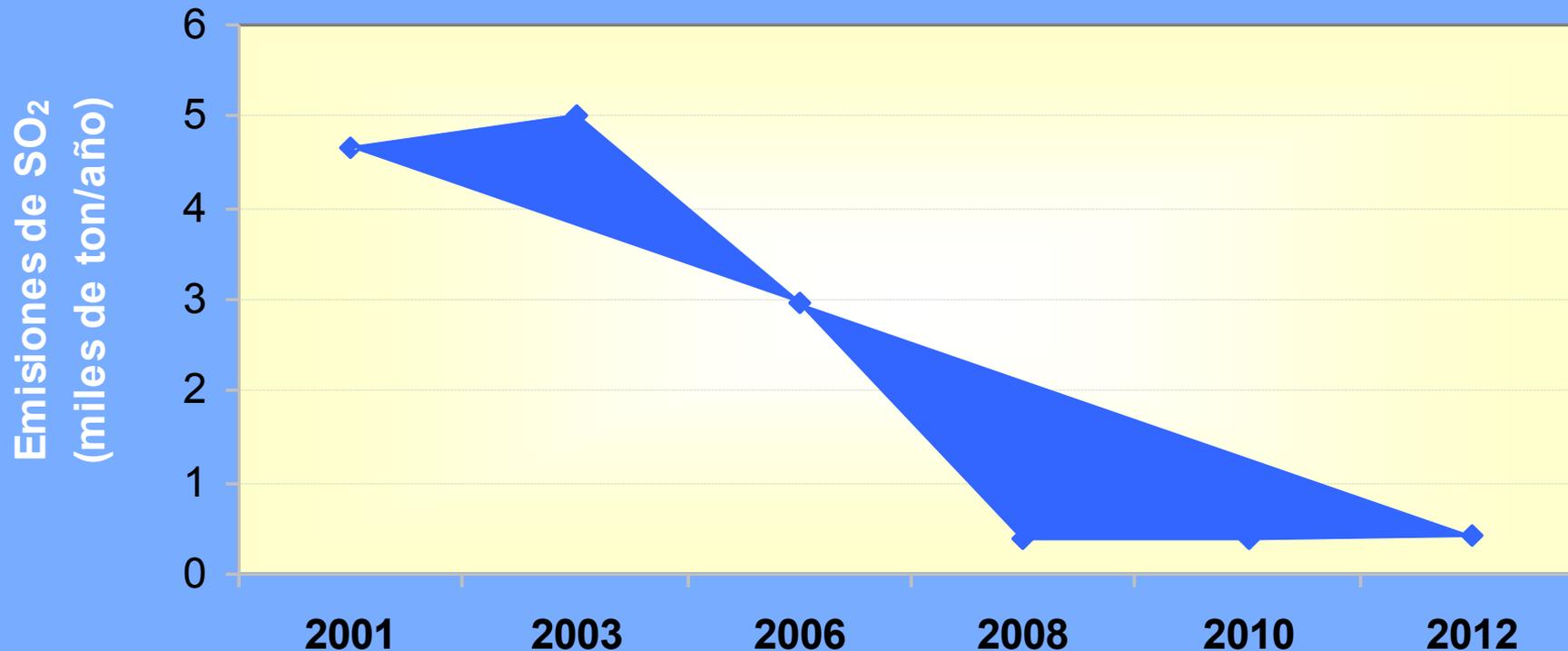
Proyección de emisiones de autos particulares en la ZMVM por la introducción de gasolina de bajo azufre



Estimación de emisiones (2)

Gasolina

Proyección de emisiones de SO_2 por la introducción de gasolina de bajo azufre (todos los vehículos)



Resultados para el escenario del proyecto de norma



Gasolina

- **Resultados de reducciones en emisiones:**
 - 1,048 toneladas anuales de HC
 - 1,866 toneladas anuales de NO_x
 - 3,580 toneladas anuales de SO₂

Estimación de emisiones (3)



Gasolina

Cálculos conservadores porque:

- Más autos particulares podrían usar gasolina Premium (no únicamente los Tier 2)
- No se consideró reversibilidad en el deterioro de las emisiones de los autos Tier 2 por el uso de gasolina con bajo contenido de azufre
- La existencia de gasolina de bajo azufre posibilitaría programas de retrofit para autos con catalizadores que han llegado al fin de su vida útil

Resultados para el escenario del proyecto de norma (1)

Gasolina

- **Reducciones en concentraciones ambientales**

Modelo de forma reducida basado en modelos tridimensionales y observaciones

- Ozono – resultados de corridas del MCCM para determinar % de reducción en ozono por % reducción en HC y NOx (Salcido et al., 2001)
- Partículas – resultados de Source Apportionment (Chow et al. 2002)

Resultados para el escenario del proyecto de norma (2)



Gasolina

Impactos en la salud

- Conocimiento internacional
- Evaluaciones en la ZMVM

Coeficientes de concentración-respuesta:
Bronquitis crónica, hospitalizaciones y urgencias por causas respiratorias y cardiovasculares, muerte prematura, días de actividad restringida

Resultados para el escenario del proyecto de norma (2)



Gasolina

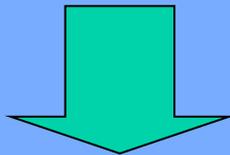
Valoración

- Disponibilidad a pagar
 - México – mortalidad y bronquitis crónica (Ibarrarán, 2002)
 - EUA – morbilidad (EPA, 1999) ajustando por el ingreso mexicano

Resultados para el escenario del proyecto de norma (3)

Gasolina

- **Beneficios estimados con la reducción de emisiones de HC, NO_x y SO₂ del 2006 al 2012:**
 - 400 defunciones/año
 - 2,760 casos de bronquitis crónica/año
 - 81,617 días de trabajo/año

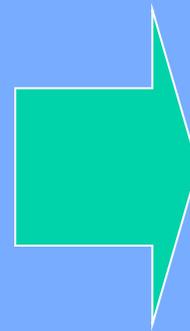


Ahorro de 651 millones de dólares/año

Otros estudios

Gasolina

- Estudio U. de California (Blumberg, 2004)
- Cálculo de beneficios a nivel nacional al 2030 por la reducción de azufre en gasolina y diesel
- Reducciones de:
 - 146 ton/día de PM10
 - 73 ton/día de SO₂
 - 55 ton/día de NO_x



**Entre 9 mil 700
y 12 mil
millones de
dólares**

Pasos futuros



Gasolina

- **Determinación de consumos reales de gasolina**
- **Análisis costo-beneficio**
- **Análisis para flota vehicular a diesel**
- **Uso de información real sobre flota vehicular a nivel nacional**

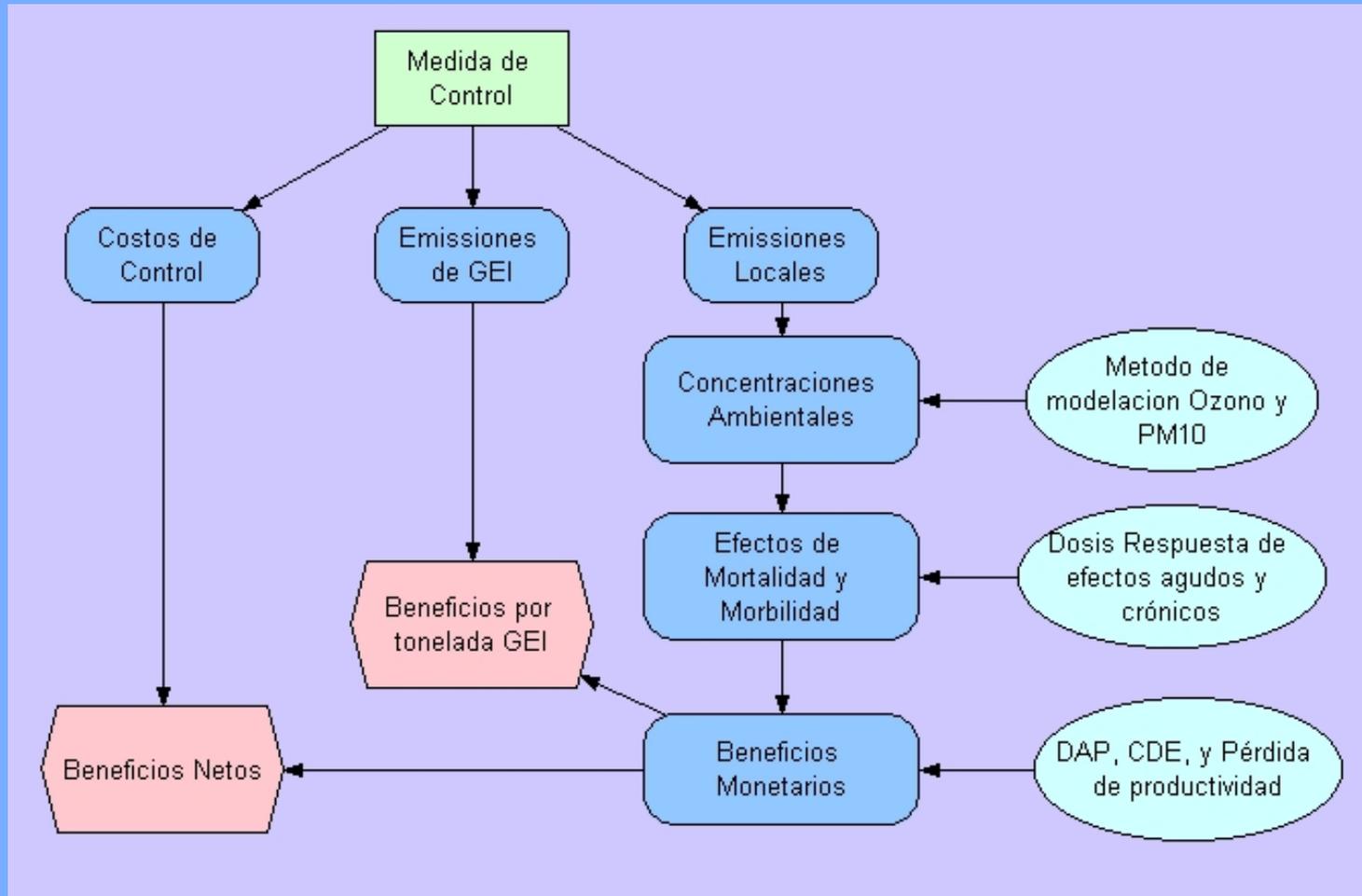
Análisis de co-beneficios de medidas de control en la ZMVM

Estudio de co-beneficios



Análisis de medidas para el control de la contaminación global con impactos positivos significativos en la salud pública a nivel local

Modelación



Estudio INE: medidas de control



- Sustitución de taxis
- Introducción de autobuses híbridos
- Extensión del metro
- Control de emisiones fugitivas de gas L.P.
- Cogeneración

Estimación concentraciones de contaminantes: modelos de forma reducida

✓ O_3 **Isopletras de ozono** (*Salcido et al., 2001*)

✓ **Partículas** **Source Apportionment Method**
(*Cifuentes et al., 1999; Chow et al., 2002*)

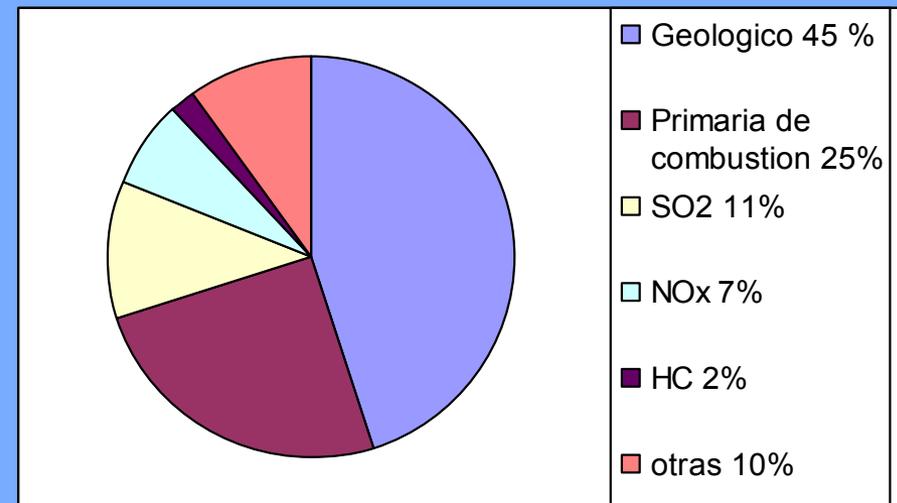
Primarias **Box Model** (*Cifuentes et al., 1999;*
Seinfeld&Pandis, 1998)

✓ **Partículas** **Source Apportionment Method**
Secundarias **Marginal PM Method** (*West and San*
Martini, 2001)

Origen de PM₁₀

- Análisis químico de partículas de la ZMVM (IMADA, 1997)
- Especies químicas observadas se atribuyen a fuentes de emisión de los contaminantes (F_i)
- Cambios en las emisiones ($\Delta E_i/E_i$) implican un cambio proporcional en partículas (RFPM)

Fracciones para PM₁₀ (F_i)



Promedio espacial de resultados de Chow et al. 2002

$$RF_i = \frac{\Delta E_i}{E_i}$$

$$RF_{PM_{10}} = \sum_{i=1}^5 F_i \cdot RF_i$$

Impactos a la salud

- 19 Impactos a la salud evaluados:

Mortalidad



causas,
pulmonar y cardio-
respiratorias

Infantil, exposición aguda y
crónica. Todas las
cáncer

Morbilidad



visita sala de
trabajo
días de actividad
restringida, ausentismo escolar

Bronquitis crónica,
hospitalizaciones,
urgencias, días de
perdido,

Efectos en salud



Estimación del impacto anualizado en salud por exposición a PM_{10}

$$I = \beta \times T_b \times C \times P$$

En donde:

I = impacto en salud al año (mortalidad, morbilidad, días de trabajo perdidos, etc.)

β = coeficiente de la función concentración-respuesta del efecto en salud

T_b = tasa basal del efecto en salud (incidencia de enfermedad o mortalidad)

C = concentración ambiental de PM_{10} y sulfatos (simulación)

P = población potencialmente expuesta (habitantes)

Valoración económica

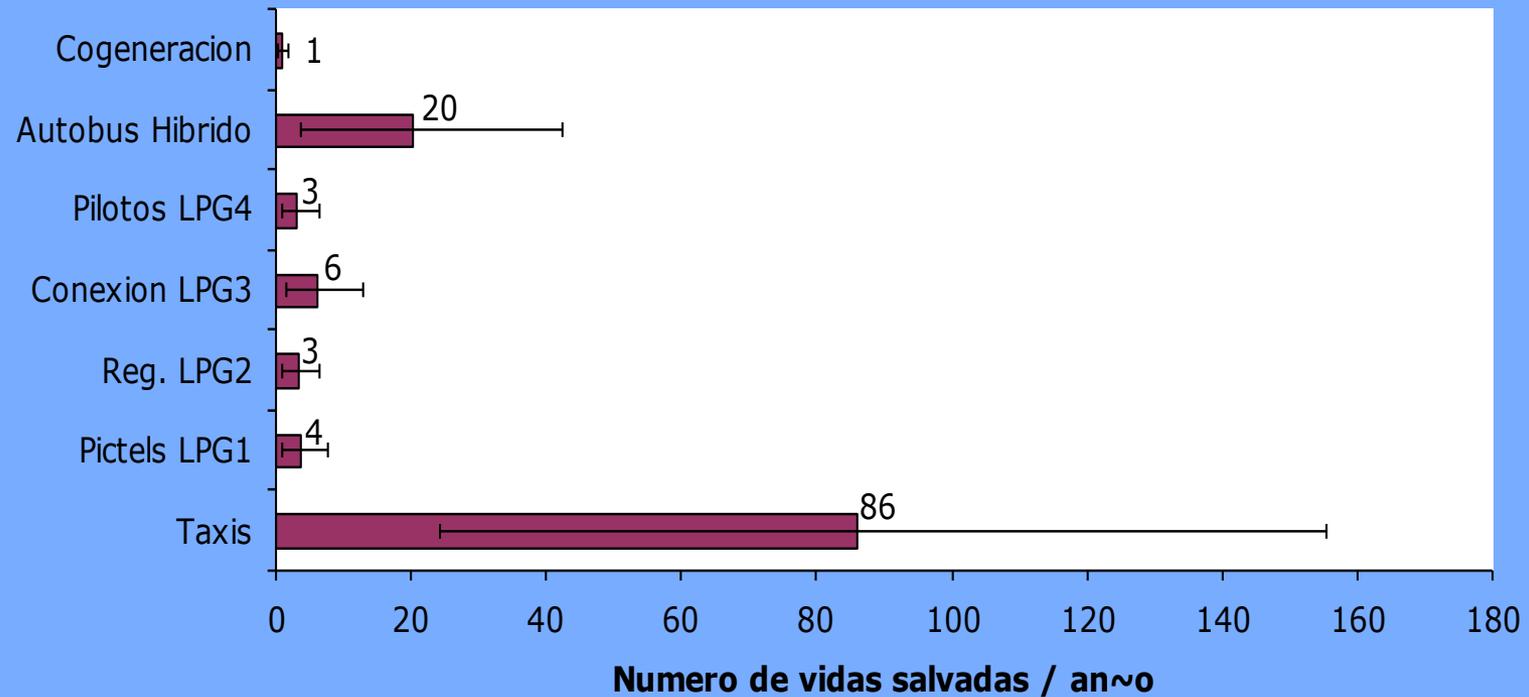


Evaluación de los beneficios económicos por la reducción de enfermedades asociadas con la contaminación atmosférica.

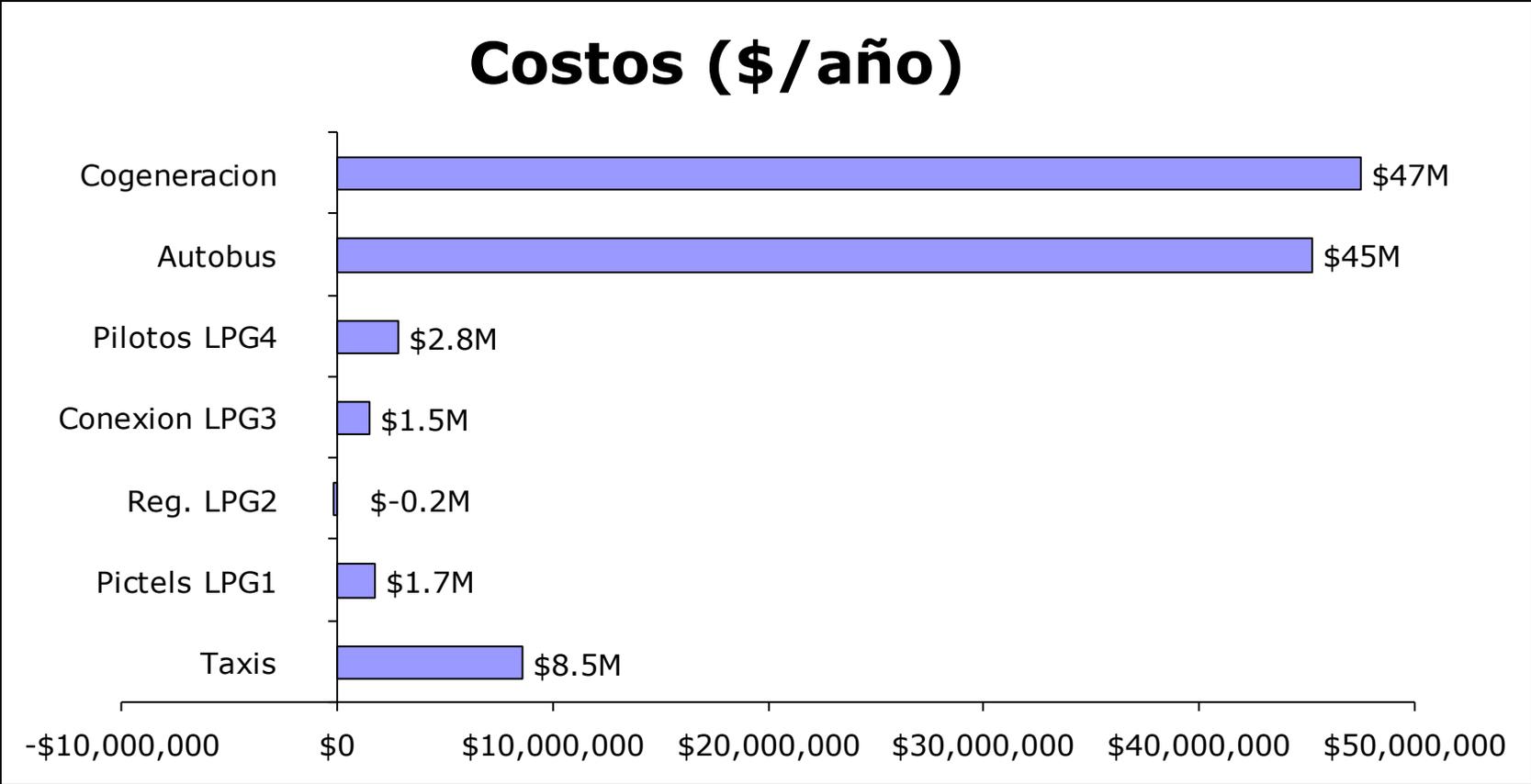
- **Costo de enfermedad (CDE)**
 - todos los costos directos de una enfermedad
- **Pérdida de productividad (PP)**
 - Al enfermarse se pierden días de trabajo
- **Disponibilidad de pago (DAP)**
 - Cantidad que un individuo está dispuesto a pagar para reducir un riesgo

Resultados

Vidas salvadas por cada medida

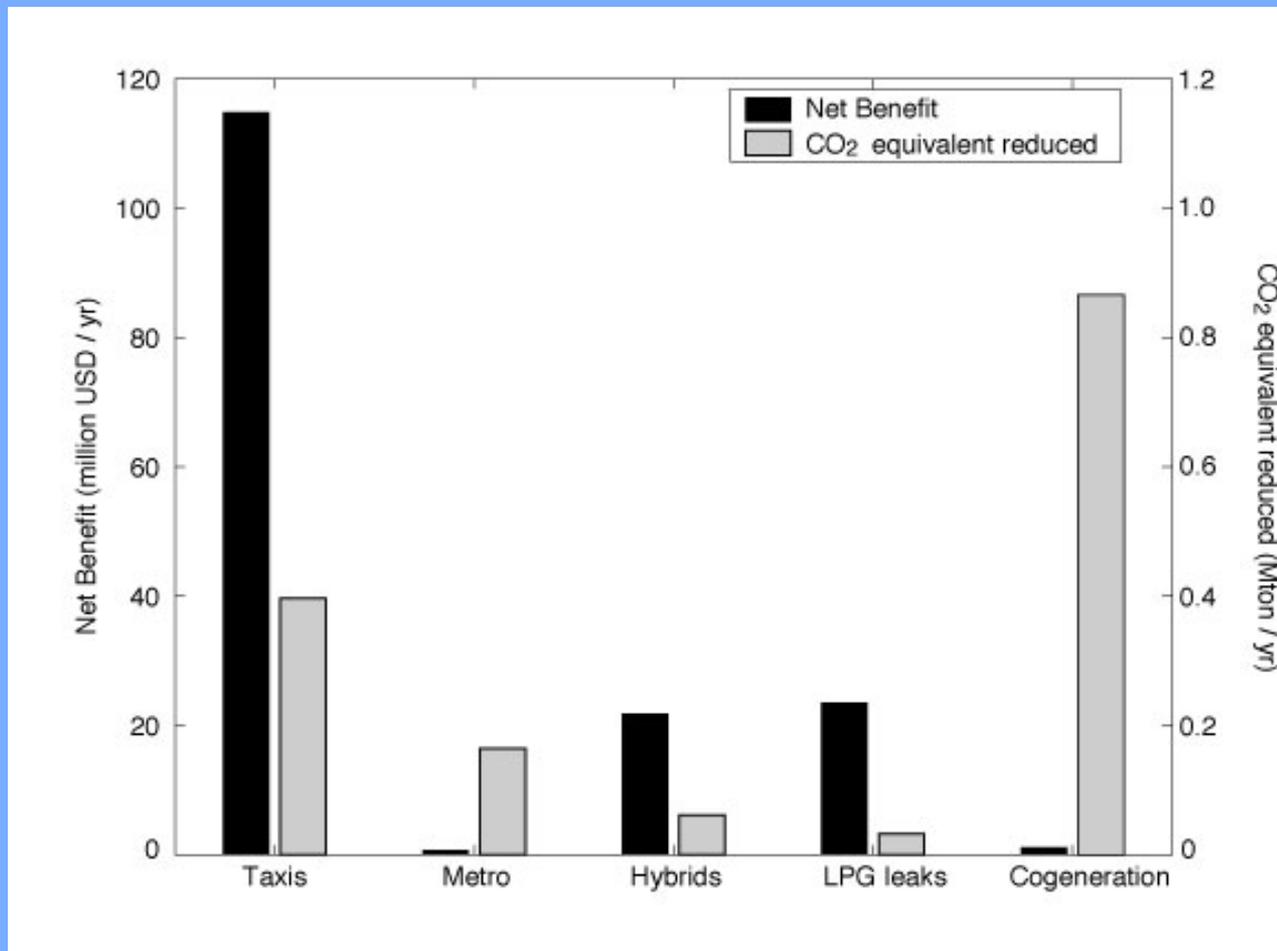


Resultados



Resultados

Beneficio neto



Co-Beneficios

Conclusiones



- Existen oportunidades para el mejoramiento de la calidad del aire con
 - beneficios $>$ costos
 - reducciones significativas en emisiones de GEI
- Dependiendo del precio, la inversión extranjera por GEI puede pagar una parte significativa de los costos para instrumentar algunas medidas
- Hay un grado importante de incertidumbre

La contaminación es un problema multicausal y complejo, por lo que su mitigación y control requieren de soluciones integrales con participación y coordinación intersectoriales

Fin

Muchas gracias

lrojas@ine.gob.mx