

NARSTO/INE/MCE2 Technical Symposium  
Co-gestión de contaminantes atmosféricos y gases de  
efecto invernadero

## Impactos en salud

Dra. Leonora Rojas Bracho  
Directora General de Investigación sobre  
la Contaminación Urbana y Regional



10 de abril de 2008

Emisiones, exposición y efectos en salud

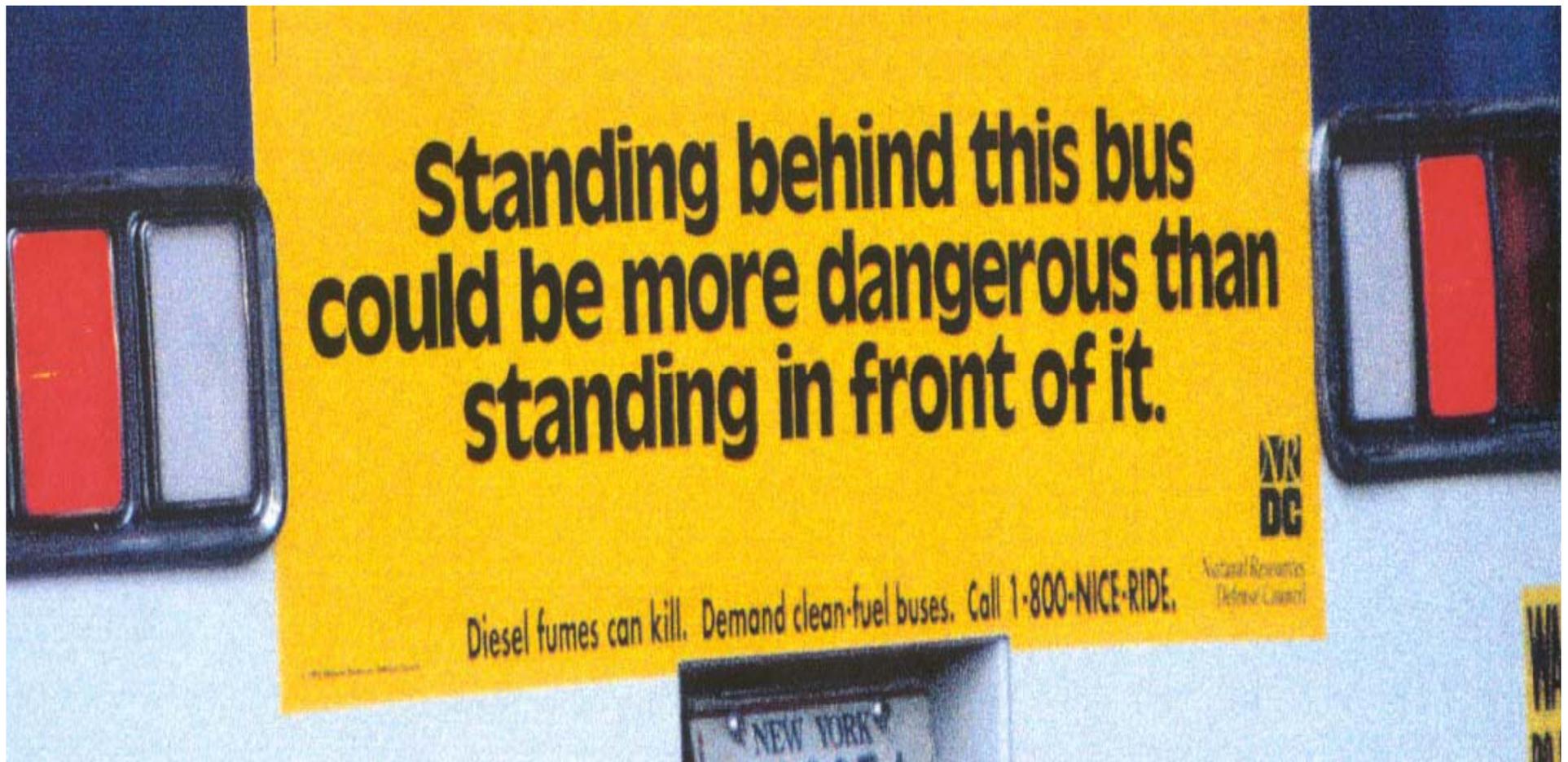


ine



## Campaña de NRDC en NY

---



Pararse detrás de este autobús puede ser más peligroso que pararse enfrente.



**Vehículos automotores y combustibles**



**Emisiones de contaminantes a la atmósfera**  
**SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, PM**



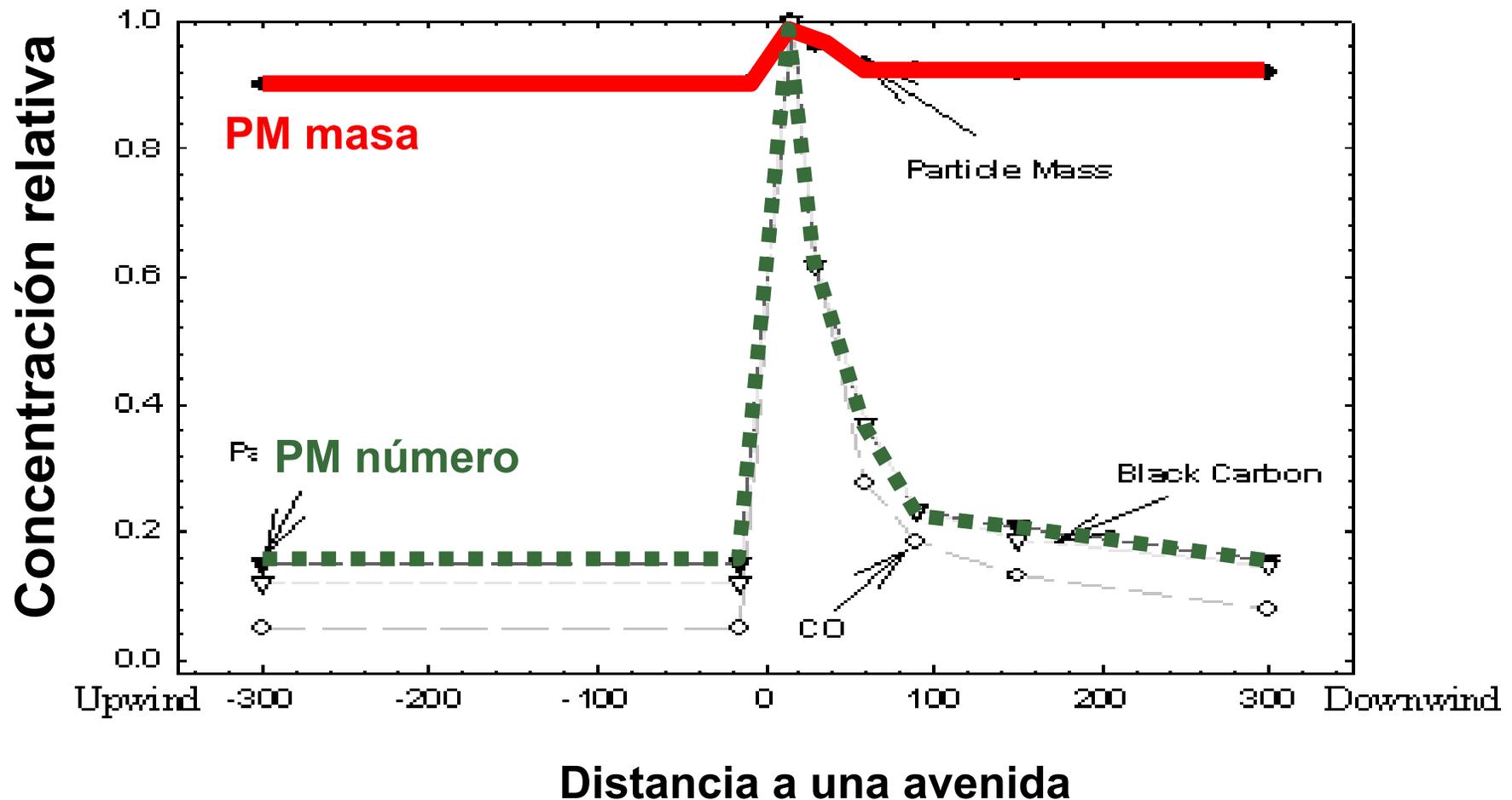
**Concentraciones de contaminantes en la atmósfera**  
**Primarios: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, PM**  
**Secundarios: O<sub>3</sub>, PM (SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, etc.)**



**Exposición de la población a contaminantes atmosféricos**



**Efectos en salud**  
**(morbilidad y mortalidad)**



**PM<sub>2.5</sub>: variación prácticamente nula con la distancia (5-10%)**

**PM ultrafinas, carbón negro y CO: disminución significativa a 100 m**

(Zhu et al, J Air Waste Manage Assoc, 2002; 52: 1032; lámina de N. Kuenzli y D. Greenbaum)

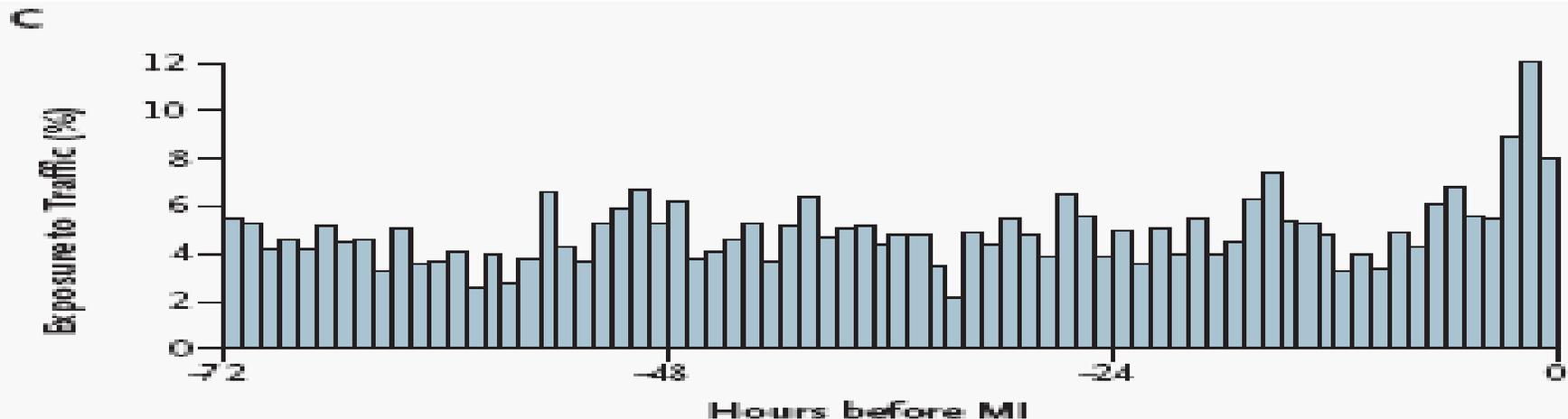


# Tiempo en el tráfico e infarto cardiaco

## Alemania

Pacientes sobrevivientes de infarto cardiaco: riesgo casi del **triple** al haber estado en el **tráfico** dos horas previas al infarto (*Peters et al., 2004*)

The NEW ENGLAND  
JOURNAL of MEDICINE



**Figure 1.** The Onset of 691 Nonfatal Myocardial Infarctions (MI) in Relation to Exposure to Traffic, According to the Amount of Time Spent in Traffic, February 1999 to July 2001, in the Region of Augsburg, Germany.



## Efectos del “tráfico” en la salud

---

- 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  
(Ciccone et al., 1998)
- Austria, Francia y Suiza: **3% de las muertes** (20 mil) se asocia con la contaminación del aire proveniente del **tráfico**  
(Kunzli et al., 2000)
- 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)



## Efectos en niños de la ZMVM

---

### Estudio de cohorte en niños de la ZMVM

- Niños en edad escolar - 8 años al inicio del estudio
- 39 escuelas de la ZMVM cercanas a estaciones de monitoreo atmosférico
- Análisis para el período 1996-1999
- Seguimiento cada 6 meses



Déficit en el crecimiento de la función pulmonar por exposición crónica a contaminantes atmosféricos, principalmente ozono y bióxido de nitrógeno

*(Rojas-Martínez et al., 2007)*



## Hong Kong: una intervención para mejorar la calidad del aire

---

Antes



Después



A partir de julio de 1990 el Dpto. de Protección Ambiental del gobierno de Hong Kong emitió una restricción para reducir el contenido de azufre en combustibles a 0.5%

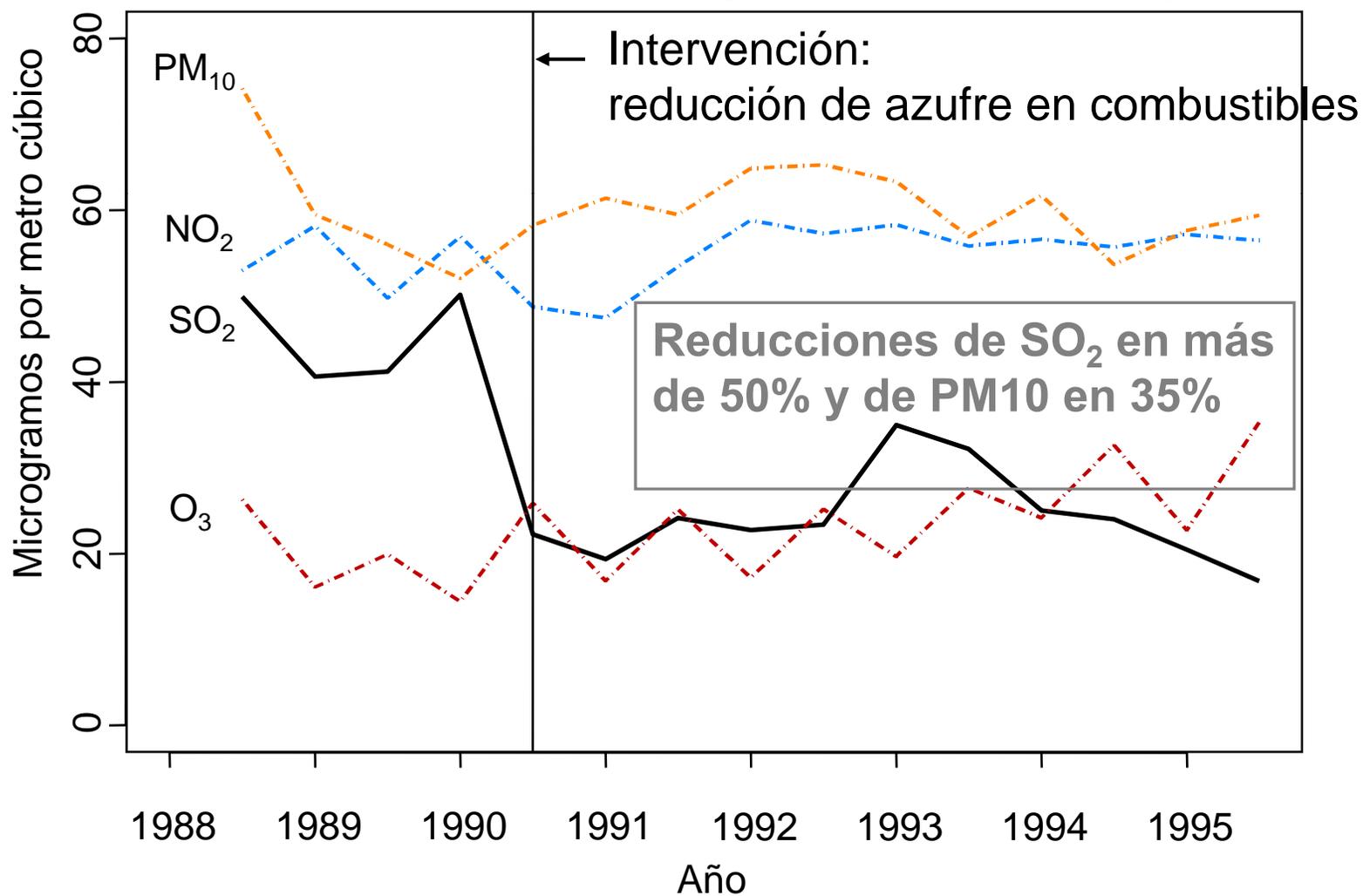
*(Cortesía de AJ Hedley & D Greenbaum)*



# Hong Kong

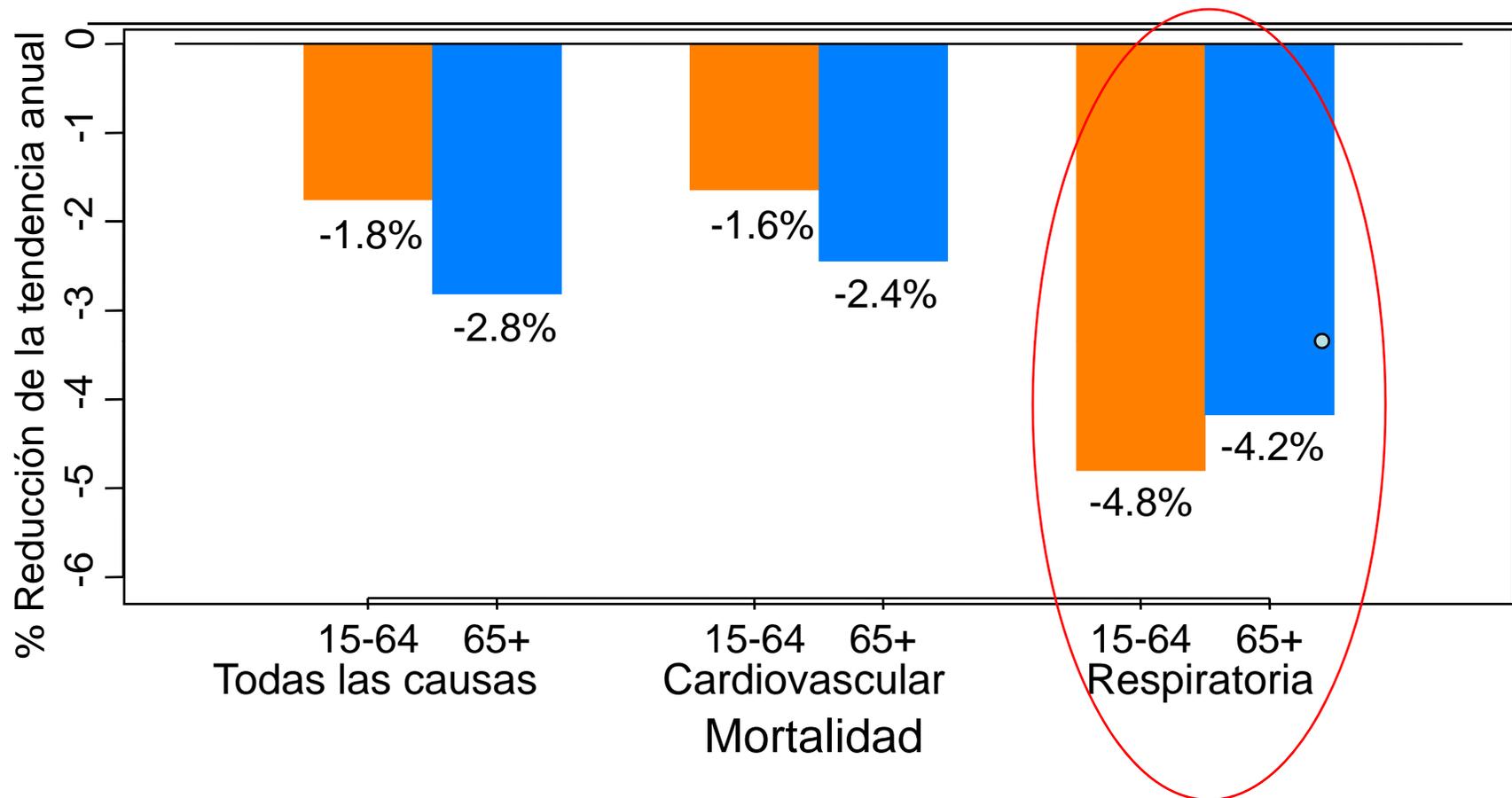
## Impactos de la intervención en la calidad del aire

Concentraciones de contaminantes 1988 – 1995  
(concentraciones promedio a medio año)





## Hong Kong Efectos de la intervención en la salud



- **Bronquitis crónica en niños:** reducción de síntomas en los dos años siguientes
- **Esperanza de vida:** ganancia de 30 días

(Hedley et al, 2002 – cortesía DGreenbaum)



## ***Evidencia internacional:***

- **Episodios de contaminación atmosférica**
  - Donora, Londres, Poza Rica, Valle del Mosa
- **Estudios de series de tiempo en más de 500 ciudades con rango amplio de concentraciones, incluso por debajo de norma**
- **Estudios de cohorte**

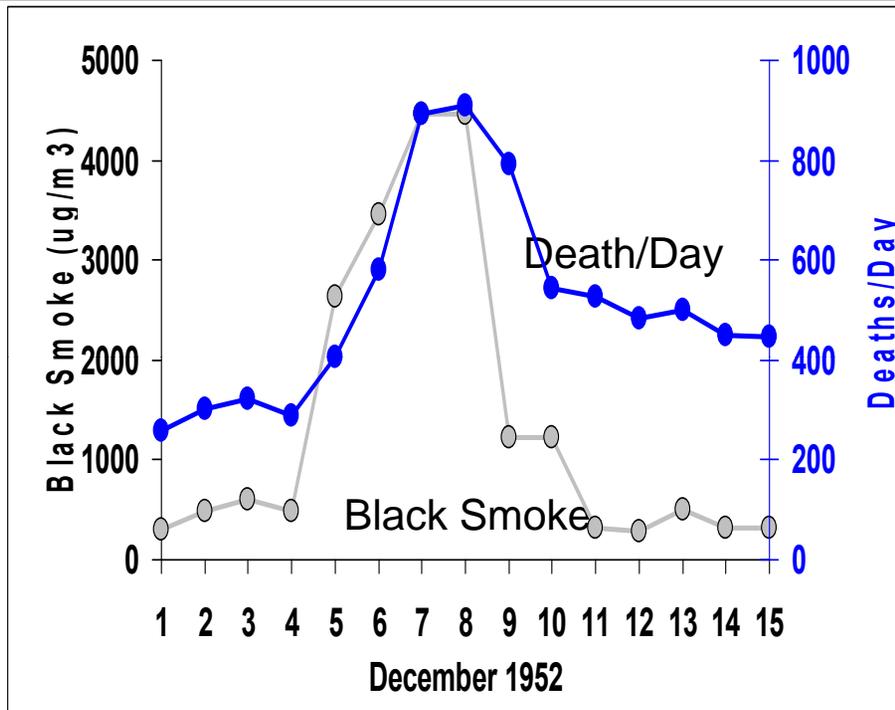
## ***Evidencia generada en la ZMVM:***

- **Estudios de series de tiempo con resultados congruentes**
- **Estudio de cohorte en niños**



# Episodio de Londres

## Diciembre 6-8, 1952



Emisiones de contaminantes por uso de carbón: partículas y  $\text{SO}_2$  + inversión térmica

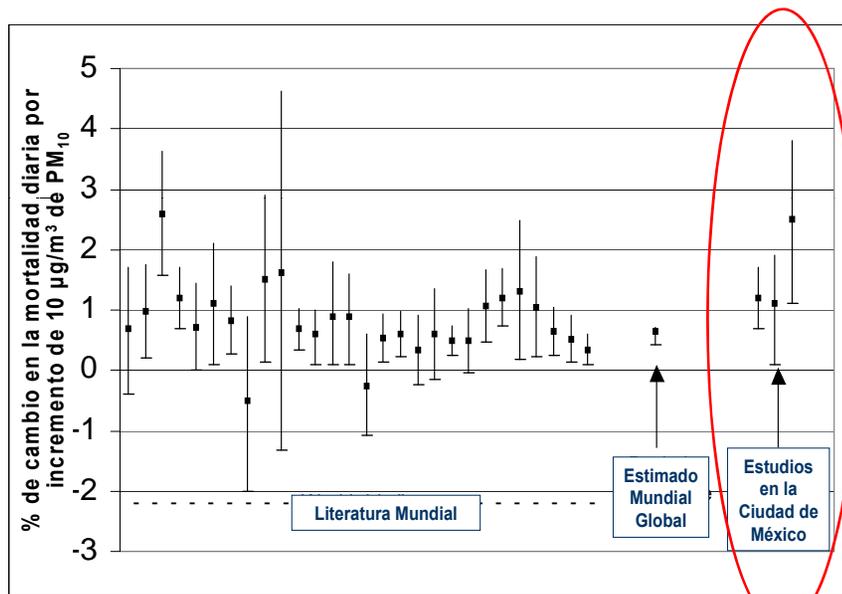
- **Mortalidad:** 4,000 muertes en 4 días y 12,000 muertes durante los 3 meses posteriores al evento
- **Hospitalizaciones por enfermedades respiratorias:** aumento en +160% en la semana siguiente
- **Neumonías:** incremento en la incidencia en casi 300%



# Contaminación atmosférica y efectos en salud

## Estudios de series de tiempo en el mundo y México

### Cambios en la mortalidad diaria asociados con niveles de PM<sub>10</sub>



(Levy, JAWMA 2000)

Por cada incremento de 10µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> se incrementa la mortalidad:

- NMMAPS/EUA - **0.5%**  
(Samet et al., 2000)

- Meta-análisis de 30 estudios internacionales - **0.7%**  
(Levy et al., 2000)

*ZMVM - México*

incremento de **1.4%** en la mortalidad  
(estimador compuesto)



## Contaminación atmosférica y efectos en salud

### Estudios de cohorte

---

- Coincidencia con series de tiempo en la asociación con  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$

Por cada incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $PM_{2.5}$  se incrementa la mortalidad en:

- *Harvard Six Cities*: **13.3%**
- *American Cancer Society*: **4.6%**

*(Re-análisis del Health Effects Institute -HEI)*



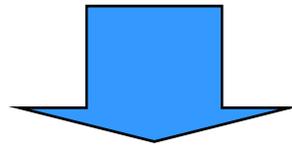
## Estudios de series de tiempo en la ZMVM

Estudio	Borja 1997	Borja 1998	Loomis 1999	Castillejos 2000
Mortalidad	D.F.	Suroeste	Suroeste	Suroeste
	1990-1992	1993-1995	1993-1995	1993-1995
Total	<b>1.20%</b>	<b>1.10%</b>	-	<b>2.50%</b>
(IC 95%)	(0.7%, 1.7%)	(0.1%, 1.9%)	-	(1.1%, 3.8%)
En < 1 año	-	-	<b>3.90%</b>	-
(IC 95%)	-	-	(-0.3%, 8.2%)	-
Respiratoria	<b>1.90%</b>	<b>1.10%</b>	-	<b>6.40%</b>
(IC 95%)	(0.3%, 3.7%)	(NS, 3.9%)	-	(2.2%, 10.6%)
Cardiovascular	<b>1.00%</b>	<b>2.10%</b>	-	-
(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



### Asociación entre los contaminantes atmosféricos a concentraciones que encontramos típicamente en zonas urbanas y efectos en salud



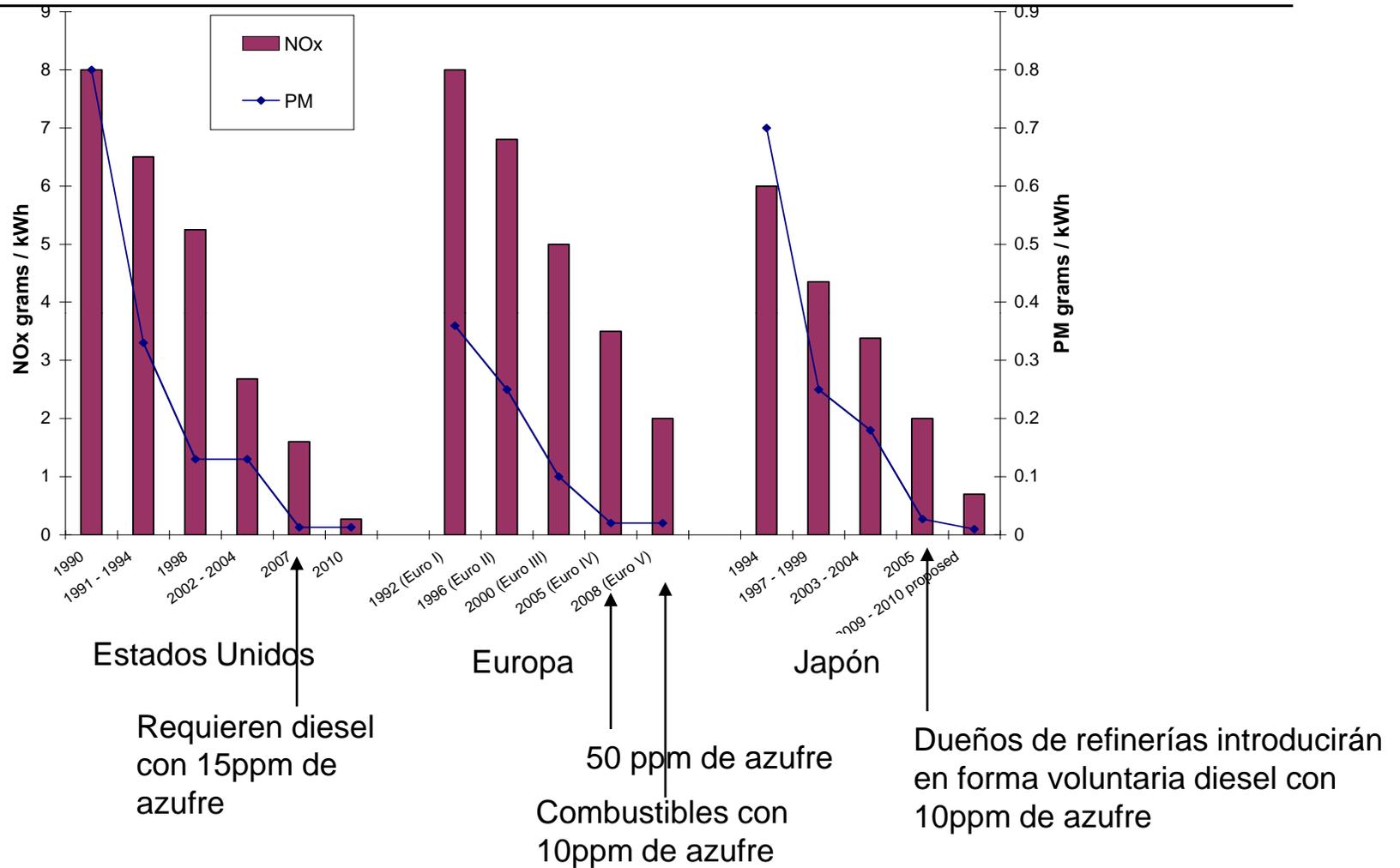
- Asociaciones robustas con diferentes métodos que han evaluado la variabilidad del clima
- Evaluación en múltiples grupos poblacionales, ciudades, países
- Análisis del efecto de otros contaminantes con concentraciones en un rango amplio y virtualmente ausentes, tales como CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM, aerosoles ácidos

# Evidencias para la co-gestión





# Enfoque sistémico: tecnologías vehiculares / calidad de combustibles



**Estándares vehiculares más limpios requieren de combustibles con ultrabajo azufre**



## Calendarios de entrada para diesel de bajo azufre en el mundo

	2006	2007	2008	2009	2010
<b>México</b>	500	500	500	?	?
<b>Chile</b>	350	350	350	350	50
<b>Santiago, Chile</b>	50	50	50	50	10
<b>EE.UU.</b>	500	15	15	15	15
<b>Unión Europea*</b>	50 (10)	50 (10)	50 (10)	10	10
<b>Japón</b>	50	10	10	10	10
<b>Beijing, China</b>	500	500	50	50	50
<b>Tailandia</b>	150	150	150	150	50
<b>Malasia</b>	500	500	500	500	50
<b>Sudeste Africano**</b>	5000	500	500	500	50
<b>Sudáfrica**</b>	500 (50)	500 (50)	500 (50)	500 (50)	50

\*Diesel de bajo azufre (10 con límite de 50 ppm) disponible en toda la Unión Europea.

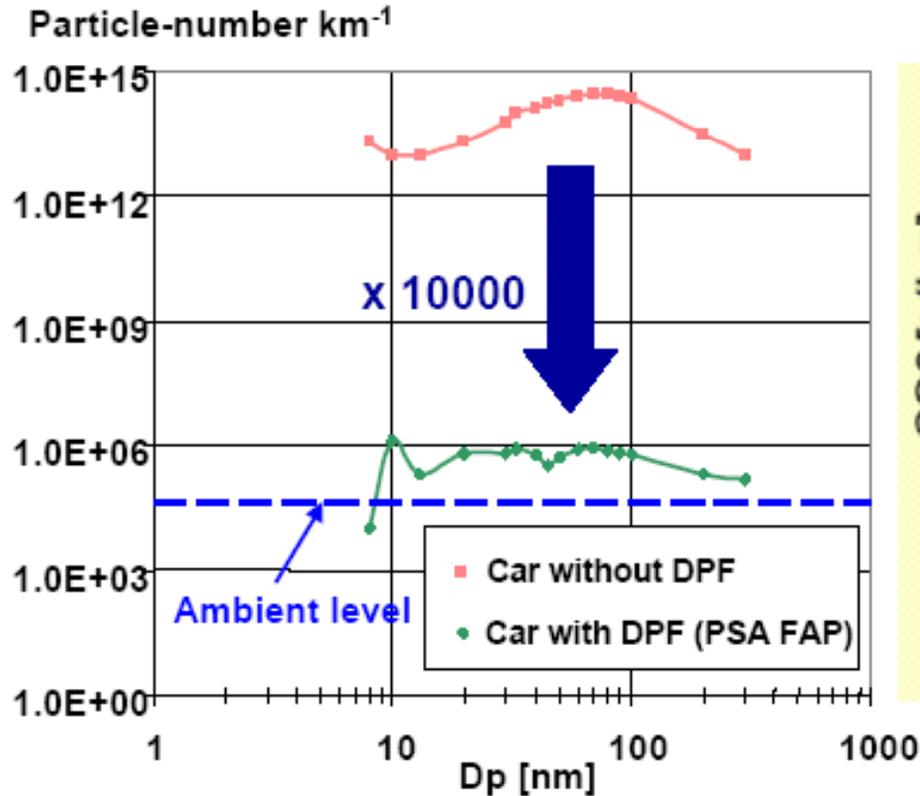
\*\* Incluye Malawi, Tanzania, Zimbabwe y Mozambique.

Perú, Brasil y Argentina se encuentran en proceso de decisión para reducir el contenido de azufre a 50 ppm para el año 2010.

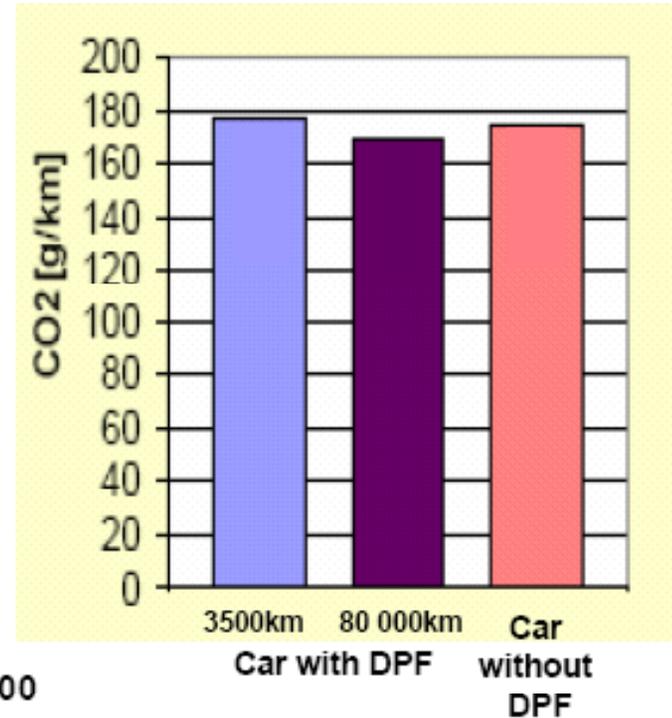
Países de Europa central y del este que tienen diesel con azufre de 10-50 ppm: Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Estonia, Hungría, Latvia, Lituania, Montenegro, Malta, Polonia, Rumania, Eslovaquia y Eslovenia.



# Filtros (DPF) para reducir emisiones de PM de todos los tamaños



Measurement by SMPS at 80 km/h



Source: ADAC

Límites de emisiones estrictos traerán consigo una mejor **economía de combustible**

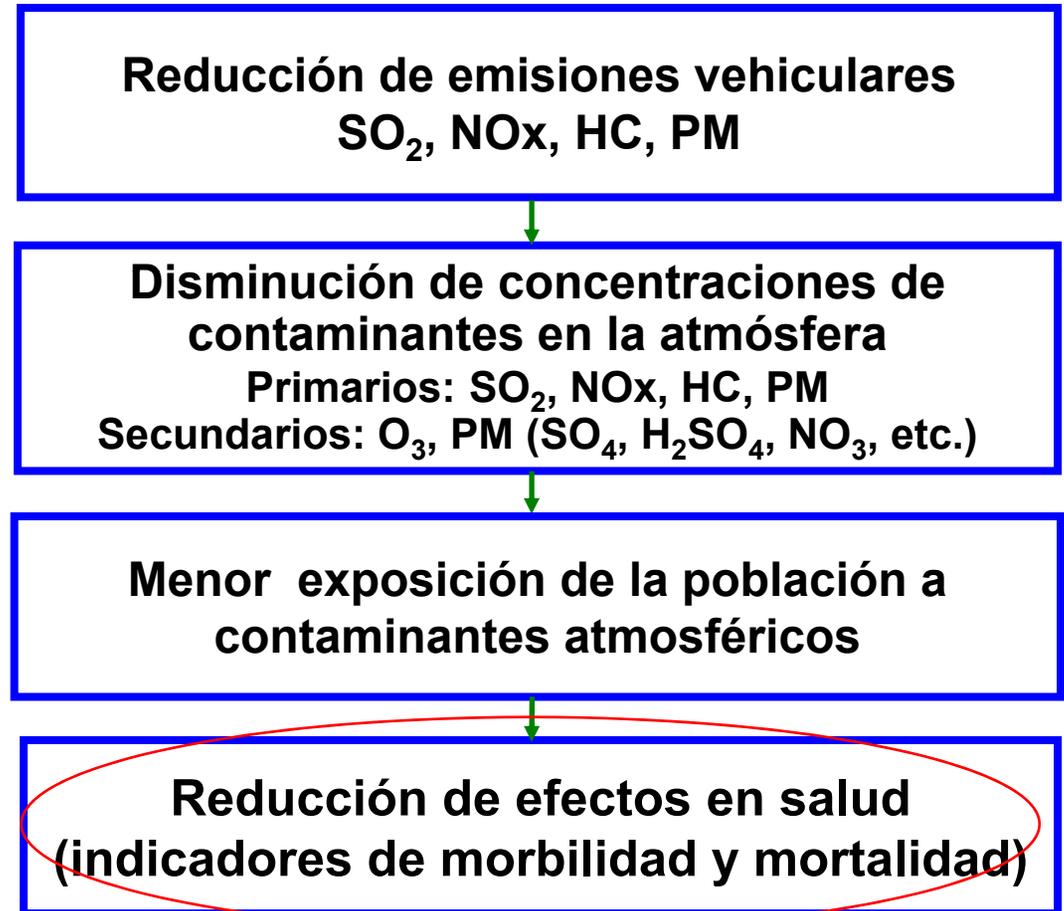
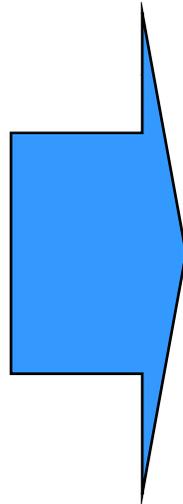
Sólo con estándares para NO<sub>x</sub> de 0.080 g/km o menores se requerirá de tecnología para postratamiento de NO<sub>x</sub>

Euro 6 norma japonesa v Tier 2 -más tarde China e India **pero no la norma mexicana**



# Beneficios asociados con la reducción de azufre en combustibles

**Intervención conjunta para la reducción de S en gasolina y diesel**  
**+**  
**introducción de tecnologías Tier 2 y EPA 2007/2010 con**

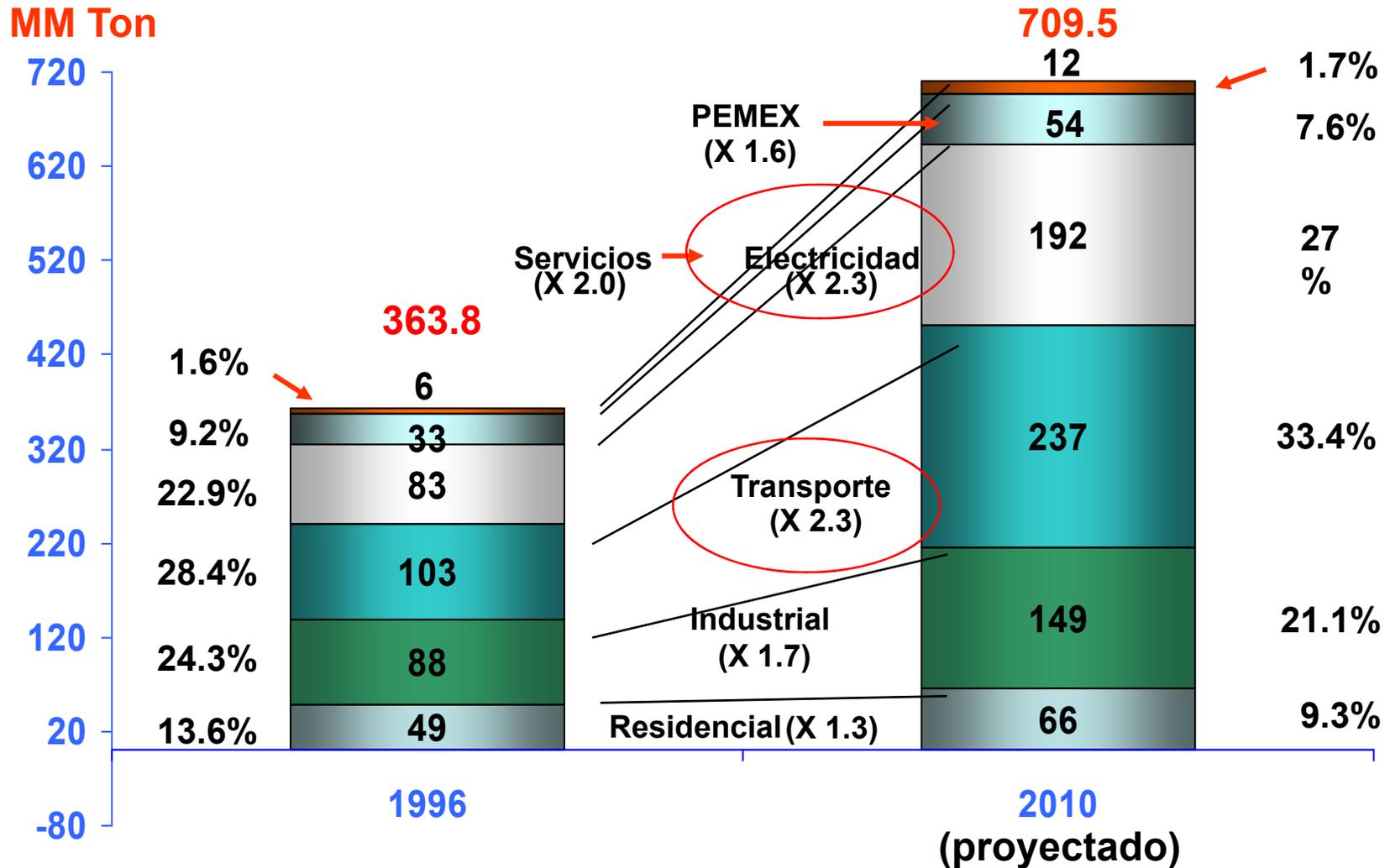


Análisis de co-beneficios: elementos para la co-gestión





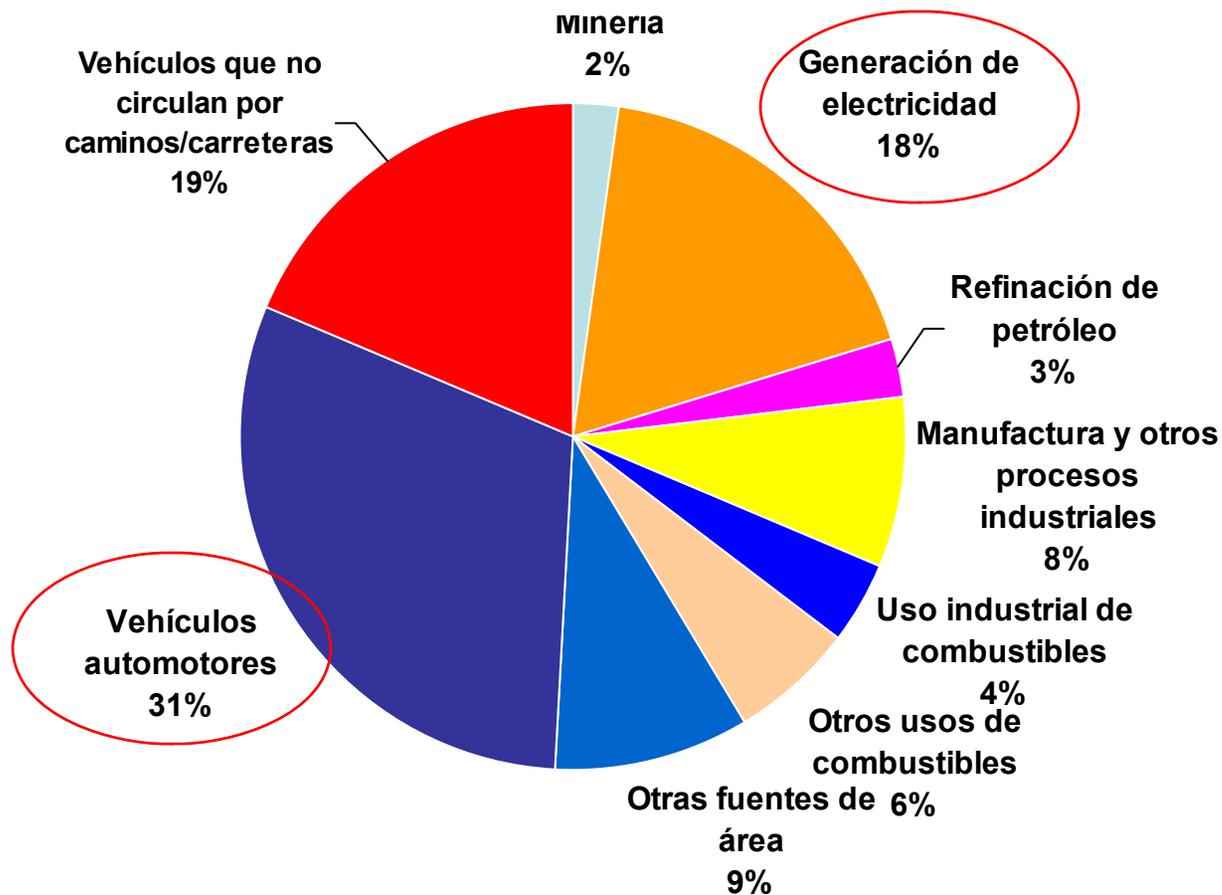
# Inventario Nacional de GEI (2002) emisiones de CO<sub>2</sub> por sector





# Inventario Nacional de Emisiones (1999)

## Emisiones de NOx





# Consumo de energía y emisiones

## Sector transporte

---

- Este sector contribuye significativamente a las emisiones de GEI y de contaminantes NO<sub>x</sub>, PM, HC, CO
- El consumo de energía para el transporte se ha incrementado de 1.2 millones de TJ en 1990 a 1.5 millones de TJ en 2002
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector se han incrementado en 28% en el período 1990-2002
  - **Transporte carretero** **91%**
  - Transporte aéreo 5%
  - Transporte marítimo nacional 2%
  - Transporte ferroviario 2%



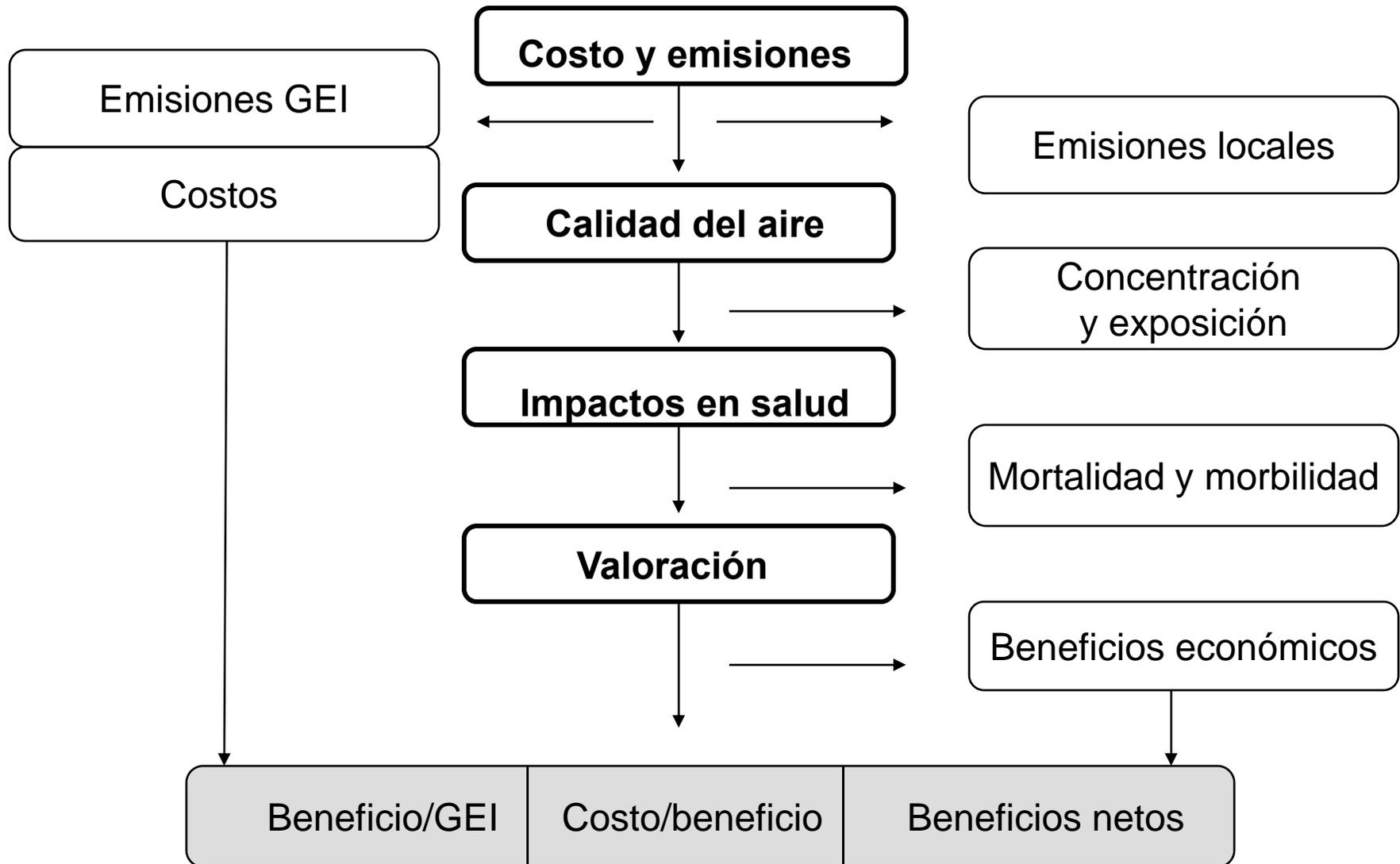
## Consumo de energía y emisiones Sector energético

---

- El sector energético contribuye significativamente a las emisiones tanto de GEI como de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>
- Las emisiones de GEI durante 2002 son 30% más altas que aquellas de 1990
- El promedio total de aumento en emisiones de GEI es de 2.2% anual



# Estructura del análisis de co-beneficios





# Análisis costo/beneficio en la ZMVM (2003)

## Motivación

---

- Población: 20 millones
- Flota vehicular: 3.5 millones
- Industria: 35,000 plantas
- Combustible: >40 millones de litros/día
- Ozono: se rebasó la norma en 80% de los días del año 2002
- México fue listado como la 13<sup>a</sup> nación generadora de GEI en 1998
- La ciudad de México emite aproximadamente 13% del total nacional





# Análisis costo/beneficio en la ZMVM (2003)

## Panorama general

---

### Evaluación de medidas de control en la ZMVM (2003-3020)

#### **Transporte**

1. Renovación de la flota de taxis
2. Expansión del metro
3. Sustitución de autobuses (RTP) a diesel por híbridos

#### **Residencial**

4. Reparación de fugas de gas LP en estufas

#### **Industrial**

5. Cogeneración





# Análisis costo/beneficio en la ZMVM (2003)

## Medidas de transporte

### Renovación de flota de taxis

- Reemplazo de 80,000 vehículos para 2010
- Aumento de eficiencia: 6.7 a 9 Km./L
- Cumplimiento con estándares Tier I

### Expansión del metro

- Construcción de 76 Km
  - Expansión de líneas 4, 5, 7, 8, 9
  - Nuevas líneas: 12 y 13
- Se asume un cambio de usuarios de microbús a metro

### Sustitución de autobuses a diesel por híbridos

- Reemplazo de más de 1000 autobuses a diesel por autobuses híbridos
- Factores de emisión importados del estudio NYC





# Análisis costo/beneficio en la ZMVM (2003)

## Metodología

---

- Análisis de medidas
  - Estimación de emisiones línea base y escenarios de control
  - Resultados anualizados 2003-2020
- Calidad del aire
  - Modelación y resultados de estudios (mediciones en campo) (PM)
  - Modelos fotoquímicos ( $O_3$ )
- Impactos en salud
  - Metodología de concentración-respuesta para 19 indicadores de morbilidad, mortalidad y pérdidas de productividad
- Valoración económica
  - Disponibilidad a pagar
  - Costo por enfermedad
  - Pérdidas de productividad



# Análisis costo/beneficio en la ZMVM (2003)

## Indicadores de salud

---

### **Coeficientes de dosis respuesta**

[EPA, 1999; César et al., 2002; Evans et al., 2002]

- ***Mortalidad***
- ***Bronquitis crónica***
- ***Admisiones hospitalarias por causas respiratorias y cardiovasculares***
- ***Urgencias por causas respiratorias***
- ***Días de actividad restringida (DAR)***
- ***Días de actividad restringida menor (DARM)***
- ***Ausentismo escolar***



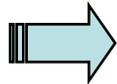
# Análisis costo/beneficio en la ZMVM (2003)

## Resultados

---

### **Instrumentación de las cinco medidas:**

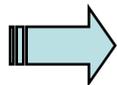
Exposición:



Reducción en 1% de  $PM_{10}$

Reducción en 3% de  $O_3$

GEI:



Reducción de 1.5 millones tons/año de  $CO_2$  equivalente



## Análisis costo/beneficio en la ZMVM (2003) Resultados (2)

---

### **Instrumentación de las cinco medidas:**

⇒ Indicador salud: ganancia de 4,400 QALYs/año

⇒ Valuación económica: beneficios netos \$160 millones  
USD/año

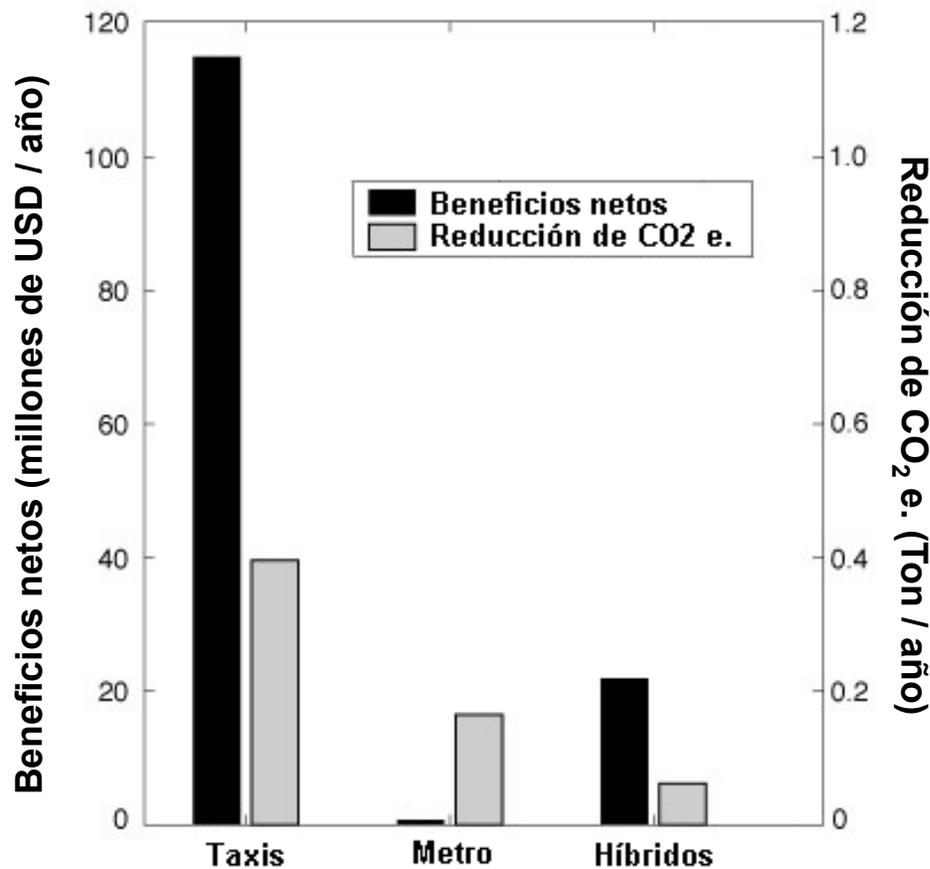
Beneficios salud pública: \$210 millones USD/año

Costos: 50 millones USD/año



# Análisis costo/beneficio en la ZMVM (2003) Resultados (3)

## Evaluación de las medidas de control 2003 - 2020



### Beneficios locales + globales / costos

Taxis: 3.4

Metro: 0.8

Híbridos: 1.3

### Beneficios en salud:

\$210 millones USD/año

### Costos de implementación:

\$50 millones USD/año

### Beneficios netos:

\$160 millones USD/año



# Evaluación de co-beneficios 2006-2008

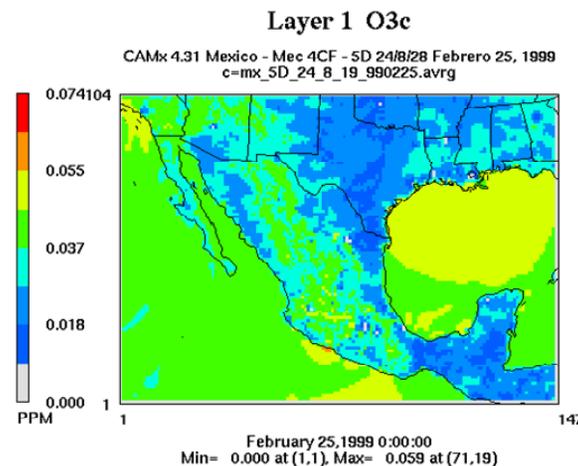
Desarrollo de una herramienta de modelación a nivel nacional, que permita la evaluación de los impactos de medidas de control de emisiones en la calidad del aire

- Herramienta de modelación para contaminantes primarios y secundarios

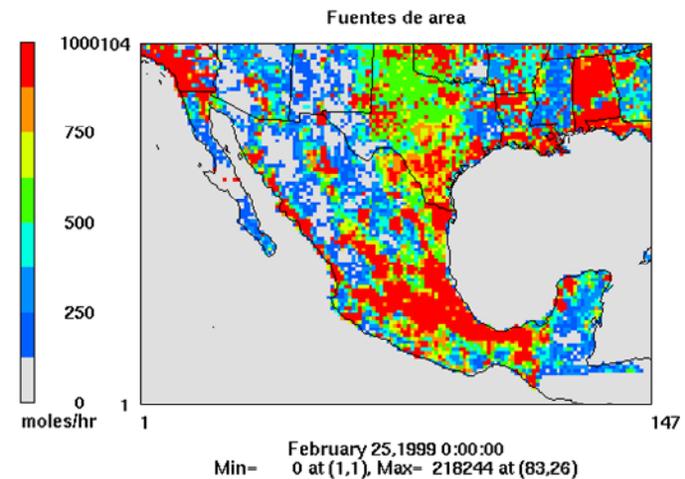


Modelación de meteorología

## Modelación de calidad del aire



## Layer 1 NOx



Procesamiento de emisiones



## Evaluación de co-beneficios 2006-2008 (2)

---

- Identificación y selección de medidas de control de emisiones a nivel nacional
  - Uso de biocombustibles en vehículos
  - Mejora de la eficiencia en vehículos nuevos
  - Iluminación eficiente (residencial y comercial)
  - Sustitución de autos viejos e instrumentación de programas de verificación vehicular
  - Co-generación industrial de calor y electricidad



## Evaluación de co-beneficios 2006-2008 (3)

---

Estimación de los co-beneficios por:

- Uso de biocombustibles en vehículos
- Mejora de la eficiencia en vehículos nuevos (gasolina y diesel)



RTM

Por tu salud, un transporte más limpio

307452  
DF MEX.

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL  
México, la Ciudad de la Esperanza

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ENERGÍA NATURALES  
SEMARNAT



EPA United States Environmental Protection Agency



CAPRE



“Es un asunto de valores y también de hechos,  
de política y también de ciencia,  
el decidir qué tan seguro es seguro  
-el decidir cuáles serán los efectos que reduciremos o evitaremos  
utilizando los poderes regulatorios y fiscales del estado.”

---

“It is a matter of values as well as facts,  
of policy as well as science,  
to decide how safe is safe  
-to decide what effects we will use the regulatory or fiscal powers  
of the state to minimize or avoid.”

*(Landy, Roberts and Thomas, 1990)*