



Universidad de Chile  
Facultad de Medicina  
Escuela de Salud Pública

# **La composición del material particulado atmosférico y efectos en salud de la población expuesta**

Pablo Ruiz

División de Epidemiología

Escuela de Salud Pública

Universidad de Chile

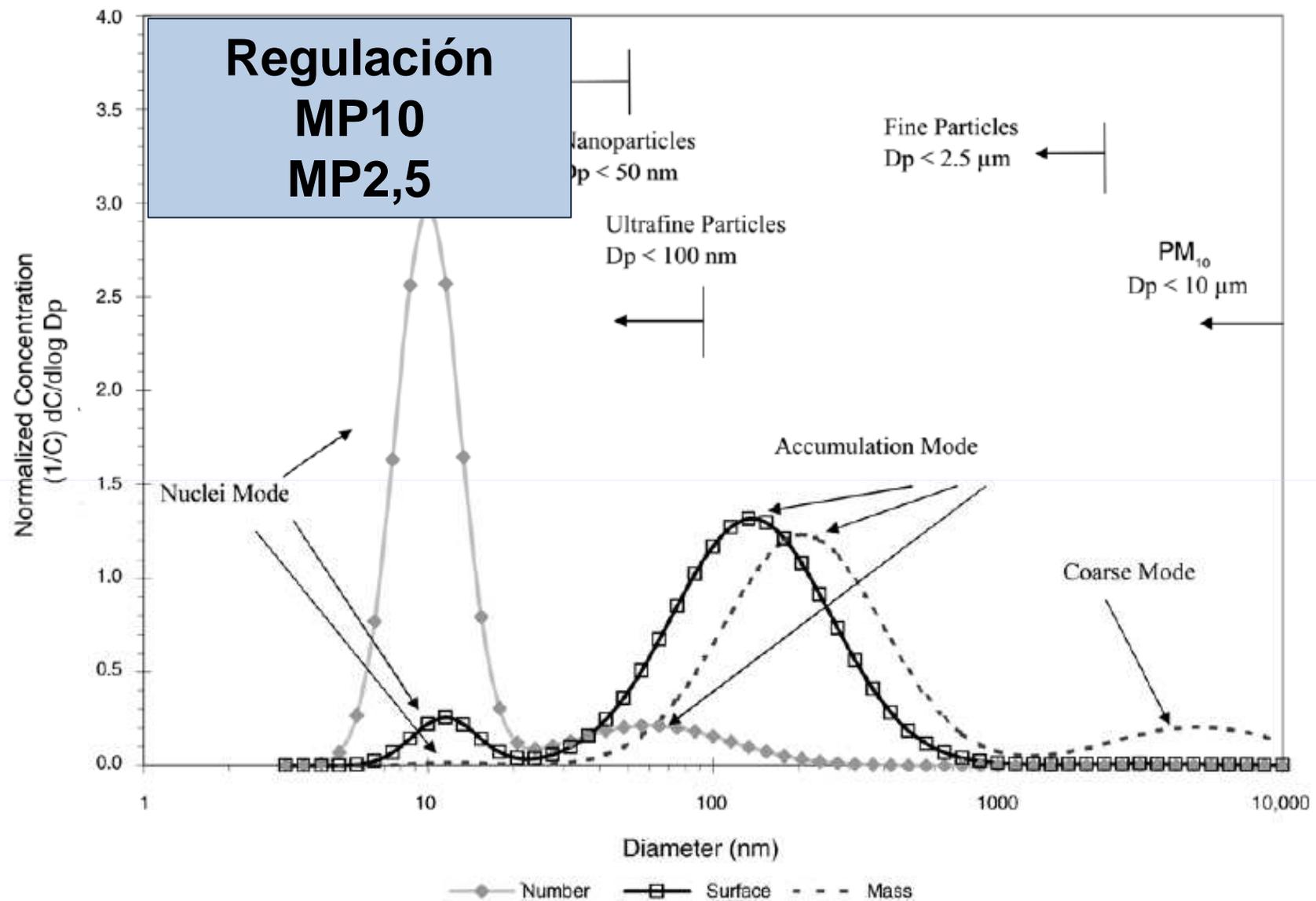
- Pablo Ruiz
  - Bioquímico, Universidad de Chile
  - Doctor Salud Ambiental, Universidad de Harvard
  - Profesor Asistente División Epidemiología



Universidad de Chile  
Facultad de Medicina  
Escuela de Salud Pública

## ¿Qué es el material particulado atmosférico?

- Son partículas sólidas o líquidas que se encuentran en suspensión
- Se clasifican como MP2,5 o MP10
- MP2,5: Partículas menores que 2,5  $\mu\text{m}$
- MP10: Partículas menores que 10  $\mu\text{m}$



**Figure 3.2. Normalized particle size distributions of typical roadway aerosol.**  $D_p$  represents the particle diameter;  $(1/C)dC/d\log D_p$  represents the logarithmic particle-concentration-distribution function weighted by number, volume (surface), and mass. Here,  $C$  is the concentration (number, surface, or mass) in a particular size range and  $C$  is total concentration summed over all sizes. (Courtesy of David Kittelson and Win Watts 2009.)

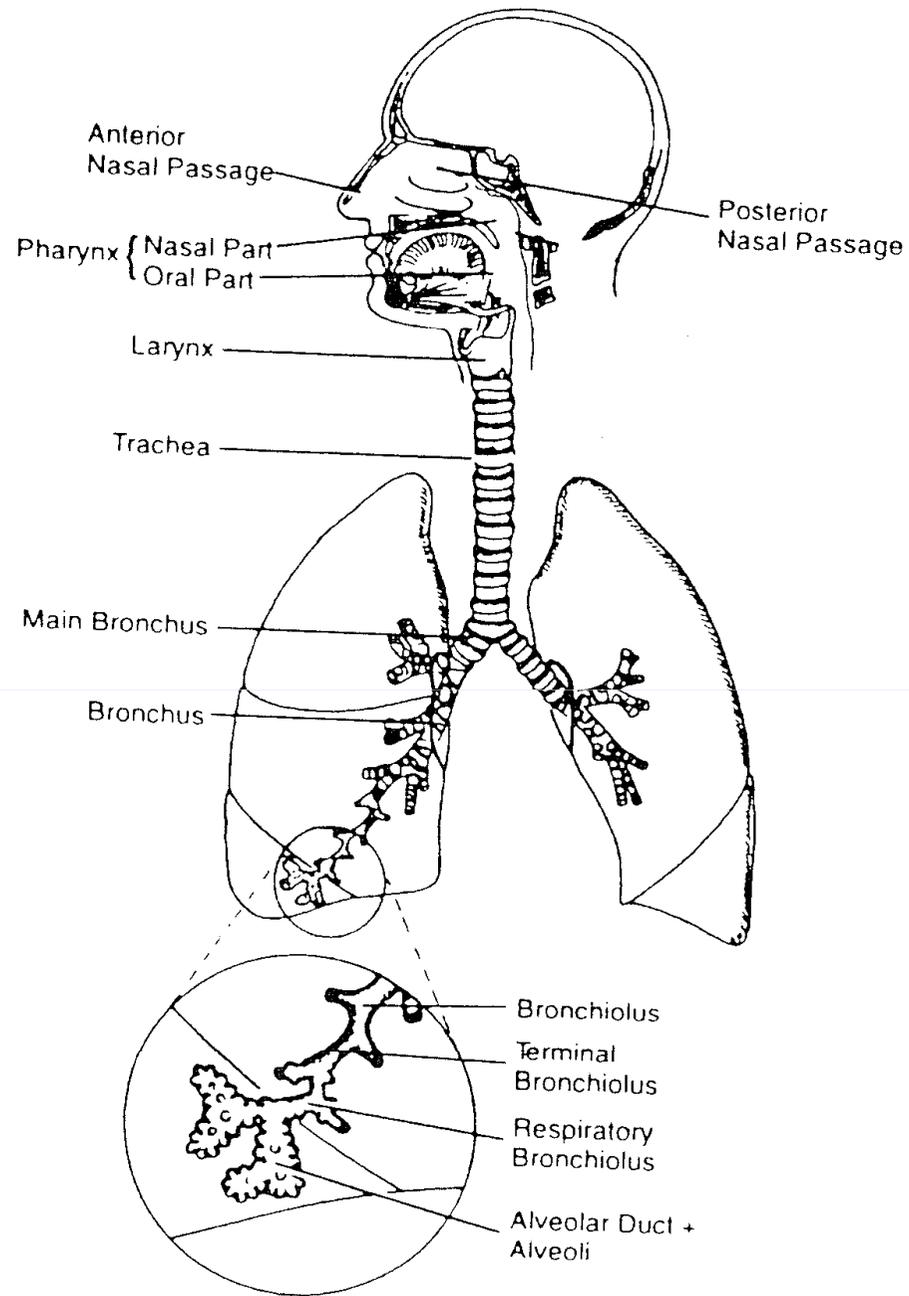
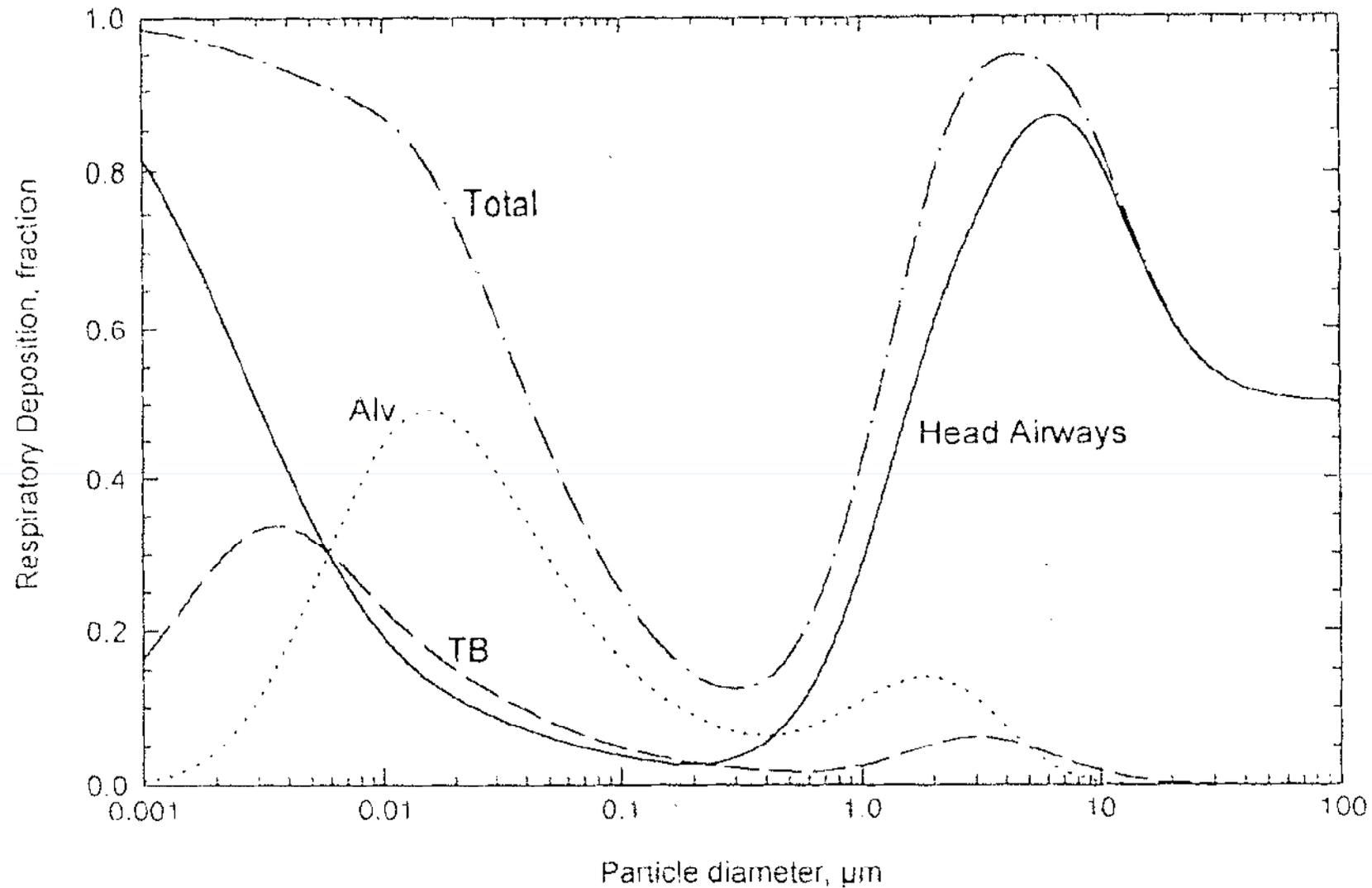


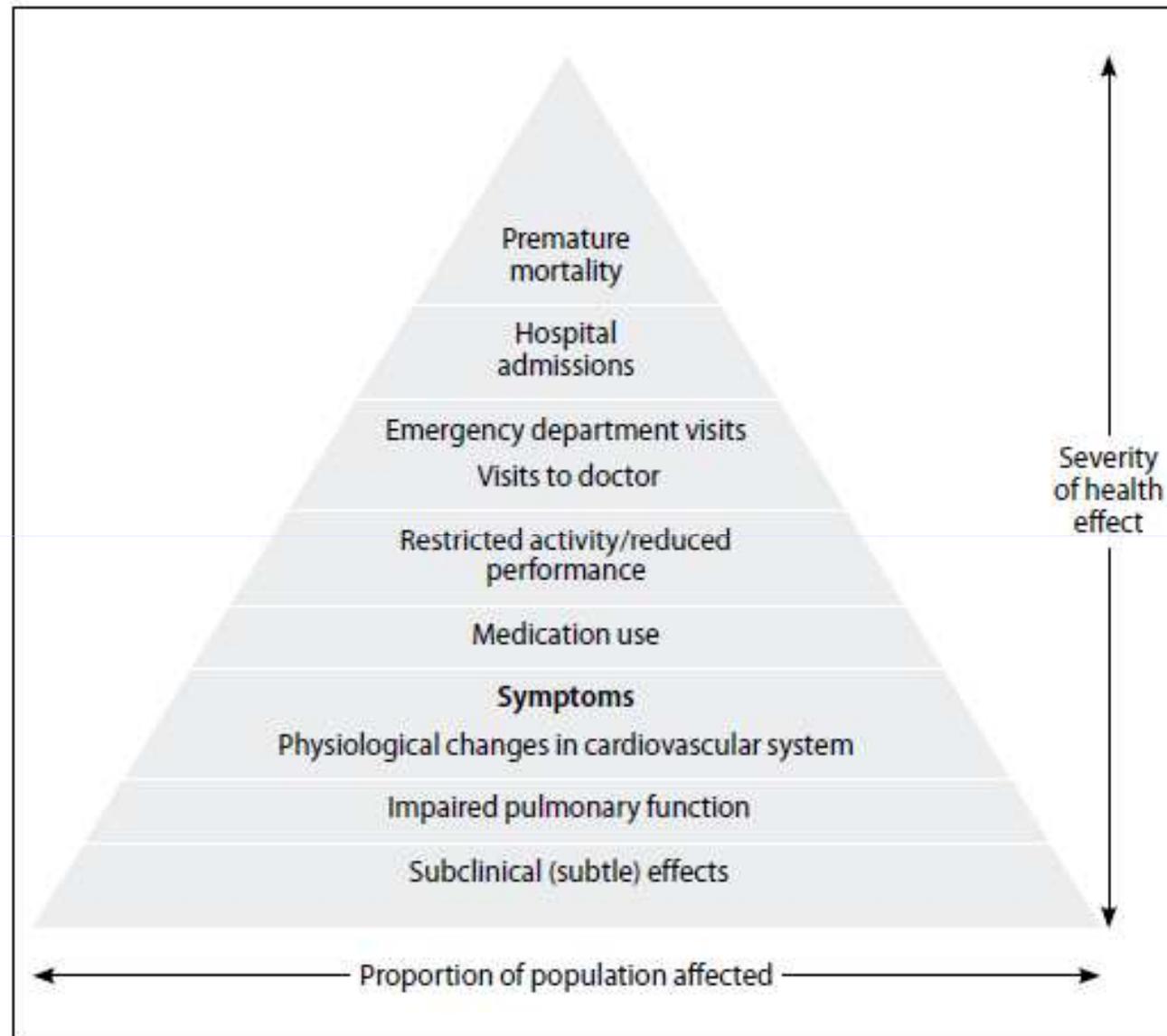
FIGURE 11.1 The respiratory system. Adapted from International Commission on Radiological Protection (1994).



**FIGURE 11.3** Predicted total and regional deposition for light exercise (nose breathing) based on ICRP deposition model. Average data for males and females.

**¿Qué efectos en salud?**

Fig. 1. Pyramid of health effects associated with air pollution



Source: American Thoracic Society (6).



Universidad de Chile  
Facultad de Medicina  
Escuela de Salud Pública

## Efectos

- Mortalidad
  - Pulmonar, Cardiovascular, Cáncer
- Hospitalización
  - Pulmonar, ataques al corazón, embolias
- Síntomas
  - Tos, ataques de asma, medicación de asma



Universidad de Chile  
Facultad de Medicina  
Escuela de Salud Pública

## Efectos

- Alteración funcional
  - Función pulmonar (espirometría)
- Marcador bioquímico
  - NO exhalado (inflamación), células en lavado broncoalveolar, PCR en sangre

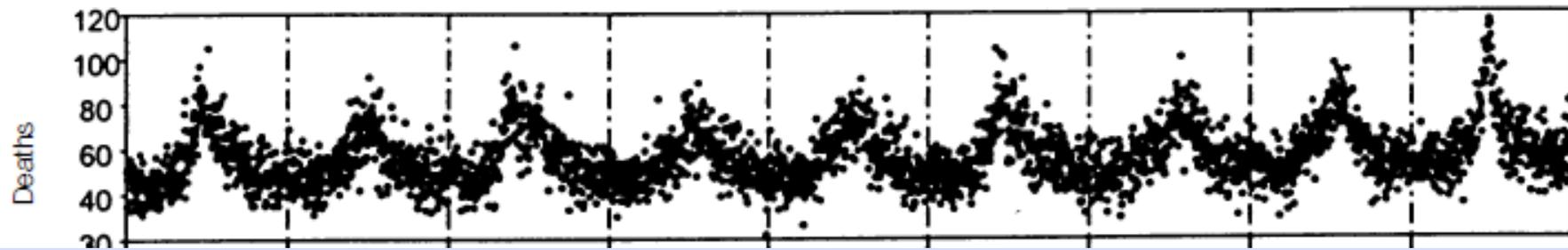
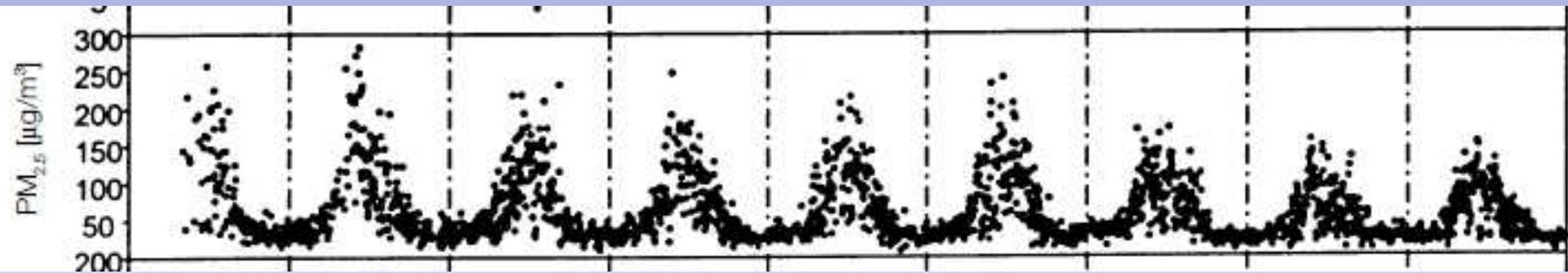


Universidad de Chile  
Facultad de Medicina  
Escuela de Salud Pública

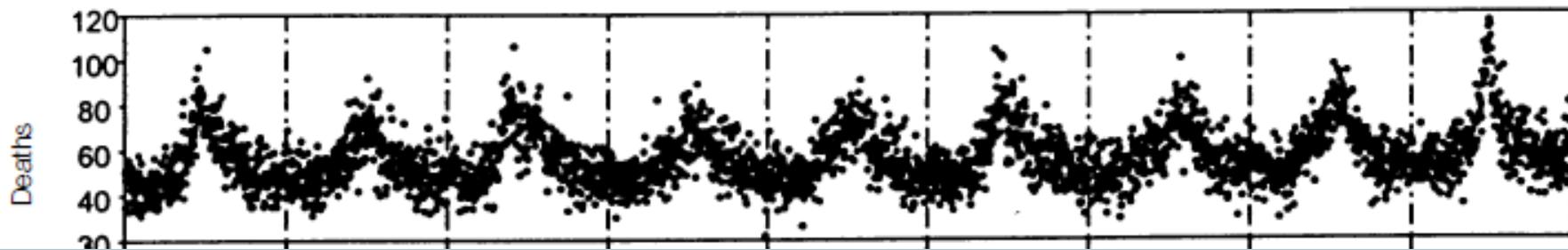
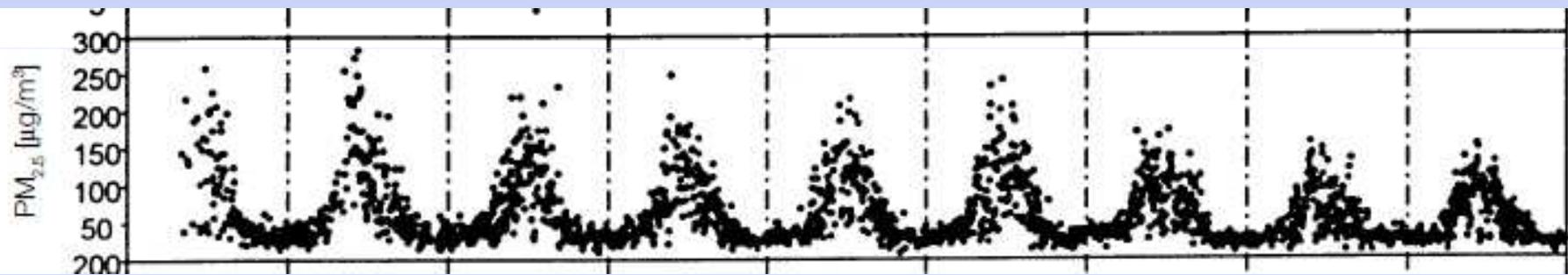
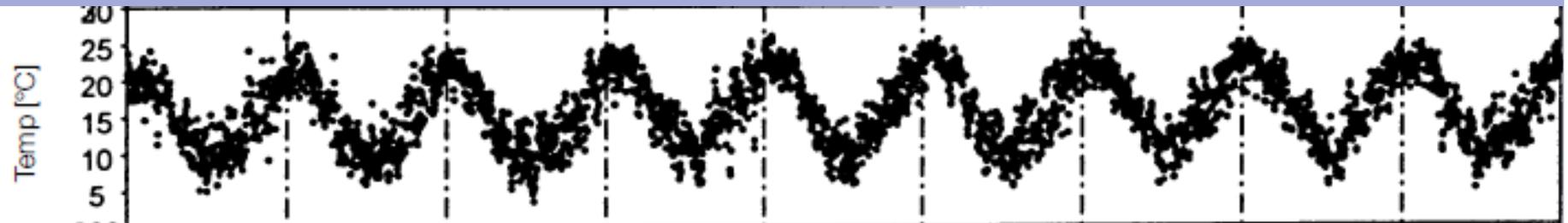
# ¿Cómo se estudia la mortalidad?

- Series de tiempo

# Contaminación



# Temperatura



**¿Cómo puedo saber si la  
contaminación afecta la mortalidad?**

# Modelamiento

- **Regresión de Poisson**
- Modelo estadístico de regresión
- Produce una ecuación (cuantitativo)

$$\text{LOG}(\text{Casos}) = b_0 + b_1 \text{PM}10 + b_2 \text{Temp} + b_3 \text{Polen} + \dots$$

# Modelamiento

- **Regresión de Poisson**
- $b_1$  se interpreta como Riesgo Relativo
  - El efecto es independiente de las otras variables (temperatura!)
  - $b_1$  tiene e.e.: significancia estadística

# Modelamiento

**TECHNICAL PAPER**

ISSN 1047-3289 *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 50:1287-1298

Copyright 2000 Air & Waste Management Association

## Effect of the Fine Fraction of Particulate Matter versus the Coarse Mass and Other Pollutants on Daily Mortality in Santiago, Chile

**Luis A. Cifuentes, Jeanette Vega, and Katherine Köpfer**

*Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile*

**Lester B. Lave**

*Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania*

# Riesgo relativo para la media

**Table 6.** Relative risk (RR) and t-ratios

All	PM <sub>2.5</sub>	t-ratio
PM <sub>2.5</sub>	<b>1.042</b>	<b>6.7</b>
PM <sub>10-2.5</sub>	1.006	0.5
CO	<b>1.025</b>	<b>3.5</b>

RR=1,042

Aumento de 4,2% en mortalidad diaria  
por cada 64 ug/m<sup>3</sup> MP<sub>2,5</sub> (media anual)

# Resumen OMS (2005)

**Table 3. Summary relative risk estimates (and 95% confidence intervals) for a 10- $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increase in pollutant for all-cause and cause-specific mortality**

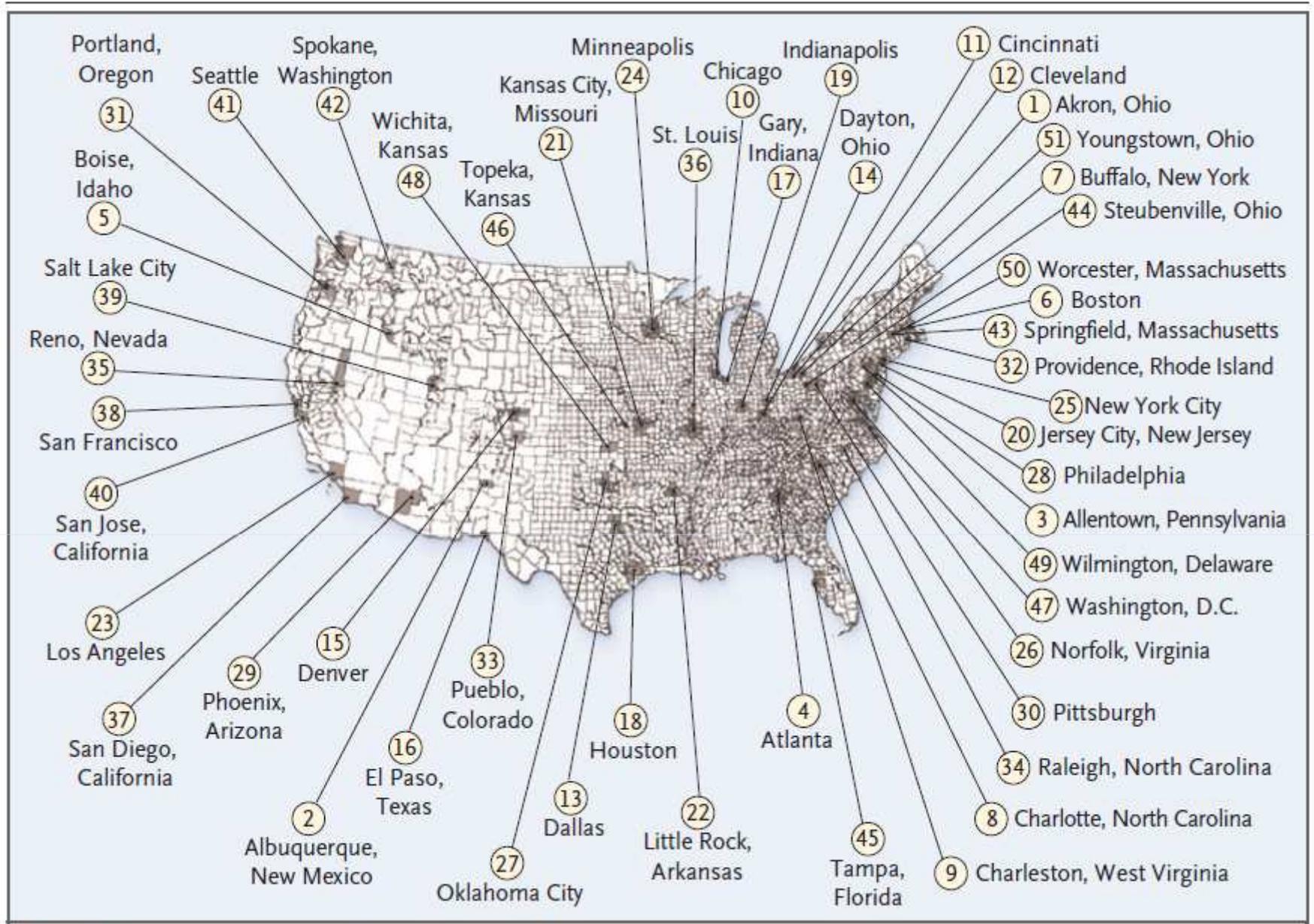
Outcome/disease	Age	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	Coarse particles	Black smoke	Ozone (8-hour)
All-cause	All ages	1.006 (1.004–1.008)	NA <sup>a</sup>	NA	1.006 (1.004–1.008)	1.003 (1.001–1.004)
		<b>33<sup>b</sup></b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>26</b>	<b>15</b>
Respiratory	All ages	1.013 (1.005–1.020)	NA	NA	1.006 (0.998–1.015)	1.000 (0.996–1.005)
		<b>18</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>18</b>	<b>12</b>
Cardiovascular	All ages	1.009 (1.005–1.013)	NA	NA	1.004 (1.002–1.007)	1.004 (1.003–1.005)
		<b>17</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>18</b>	<b>13</b>

<sup>a</sup> NA = insufficient numbers available for meta-analysis (<4).

<sup>b</sup> Numbers in bold indicate number of European studies available.

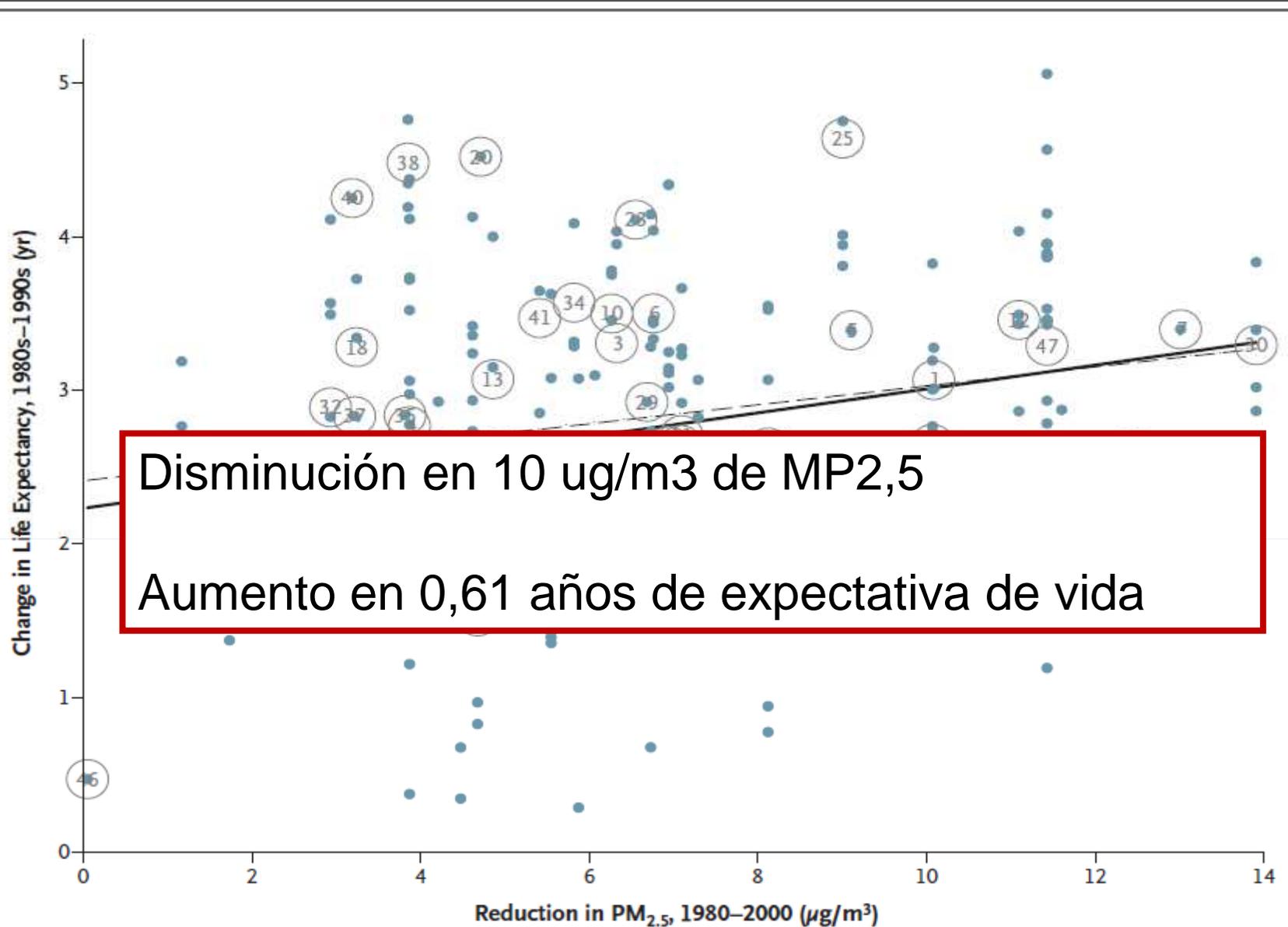
Source: Anderson et al. (2).

**OMS. 2005. Guías de calidad de aire.**



**Figure 1.** Distribution of Study Areas.

**Pope. 2009. NEJM**



**Figure 4.** Changes in Life Expectancy for the 1980s–1990s, Plotted against Reductions in PM<sub>2.5</sub> Concentrations for 1980–2000.

**Pope. 2009. NEJM**

# Regulación EPA

	MP2,5	MP10
24 horas	35 ug/m <sup>3</sup>	No
Anual	15 ug/m <sup>3</sup>	No

# Regulación OMS

	MP2,5	MP10
24 horas	25 ug/m <sup>3</sup>	50 ug/m <sup>3</sup>
Anual	10 ug/m <sup>3</sup>	20 ug/m <sup>3</sup>

# Regulación Chile

	MP2,5	MP10
24 horas	En formación	150 ug/m <sup>3</sup>
Anual	En formación	50 ug/m <sup>3</sup>

Media anual 35ug/m<sup>3</sup> MP2,5

EPA 15 ug/m<sup>3</sup>

OMS 10 ug/m<sup>3</sup>

Concentraciones diarias 40% de los días más que 35 ug/m<sup>3</sup>

# Fuentes Material Particulado

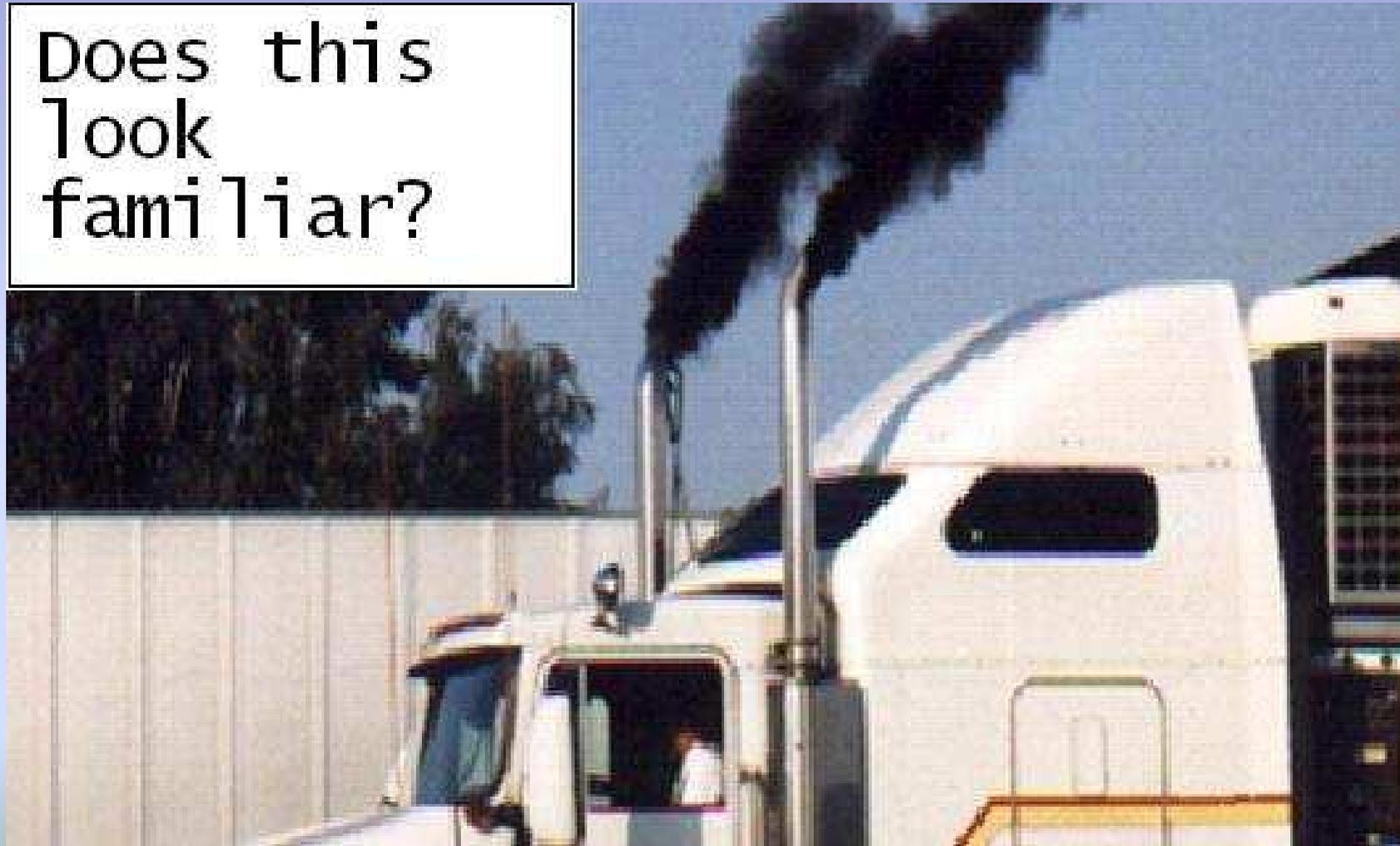


# Material particulado y origen

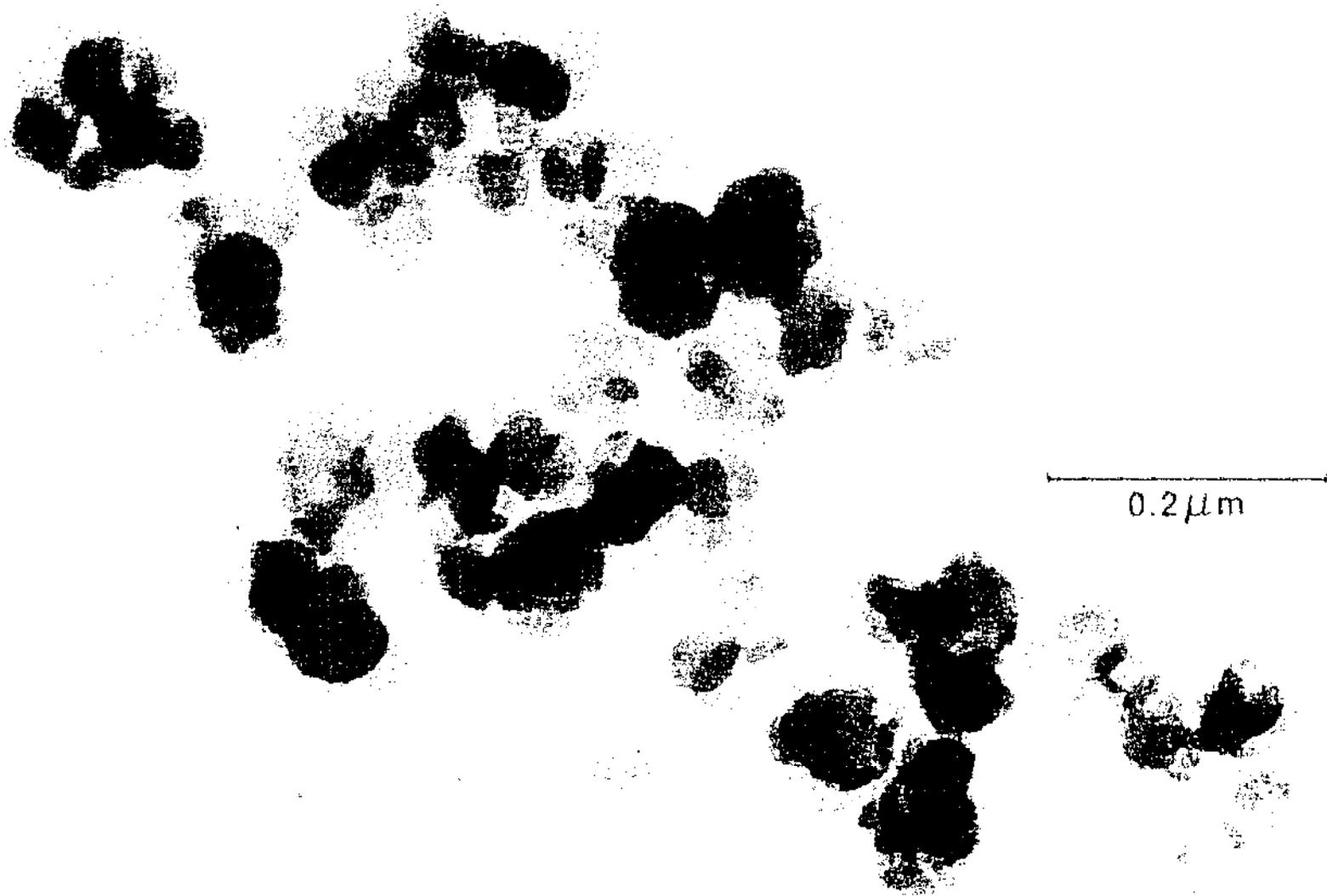
- Primario
  - Directamente emitidas
- Secundario
  - Producido en atmosfera por reacciones de gases

# Emisión primaria: Diesel

Does this  
look  
familiar?



(a)



(b)

**Figure 6.10** Transmission electron microscope photographs of soot particles produced in a laminar diffusion flame with acetylene fuel illustrating the agglomerate structure (courtesy of E. Steel, National Bureau of Standards).

# Material particulado y origen

- Secundario
  - $\text{SO}_2$  -----→ Sulfato
  - $\text{SO}_2$  proviene de
    - Carbón de plantas generadoras
    - Diesel
    - Fundiciones
    - Kerosene (indoor)

# Fuentes y composición

Fuente	Composición
Vehiculos Gasolina	Zn, Cd, nitrato, carbono orgánico
Vehiculos Diesel	Fe, Zn, Ba, sulfato, nitrato, Hollín, Carbono orgánico
Plantas generadoras a carbón	Ca, Al, Si, Se, Hg, nitrato, sulfato
Plantas generadoras a petroleo	Ni, V, nitrato, sulfato
Quema de leña	K, Ca, Si, Al, hollín, carbono orgánico
Resuspensión polvo	Si, Al, Ca, Fe

# Fuentes Material Particulado



# Exposición a emisiones de tráfico

- **¿Cómo estimar la contribución de fuentes a los niveles de material particulado observado en una ciudad?**
- **Análisis de Factores**



Universidad de Chile  
Facultad de Medicina  
Escuela de Salud Pública

## Determinación Fuentes / Modelos de Receptor

- Análisis composición MP
  - XRF, 40 elementos (Al, Si, Fe, As, Cu, etc)
- Series de tiempo
  - Mediciones diarias de composición
- Distintas fuentes
  - Distinta composición
  - Distinto aporte día a día



Universidad de Chile  
Facultad de Medicina  
Escuela de Salud Pública

## Ejemplo

- Temuco. Ciudad de Chile
- 40 muestras de 24 horas de MP2,5 se colectaron durante 1998
- Resultados se usaron para Análisis de Factores

• Kavouras y col., 2001



Universidad de Chile  
 Facultad de Medicina  
 Escuela de Salud Pública

## Temuco (Kavouras y col. 2001)

**Table 2.** Source contributions to PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and elemental ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) concentrations in Temuco.

	Motor Vehicle	Soil	Sulfur Source	Wood Burning	Calculated Mass	Measured Mass
<b>PM<sub>2.5</sub></b>						
Mass	10.9	2	5	100	223	25.3
Mg	-	2	-	-	-	8
Al	-	9	-	-	-	2
Si	-	19	-	-	-	88
P	-	1	-	-	-	5
S	-	-	-	-	-	67
K	201	6	-	-	207	13
Ca	-	6	-	-	-	1
Mn	3	2	-	-	5	4
Fe	44	96	-	-	140	132
Cu	2	-	1	0	3	4
Zn	15	-	4	6	26	29
Br	72	-	-	-	72	67
Rb	0	-	0	1	1	2
Sr	0	1	-	-	1	1
Pb	223	-	29	-	252	252

Motor: Pb, Br, Zn, Fe, Mn

Suelo: Mg, Al, Si, Ca, Fe

Azufre: S, K

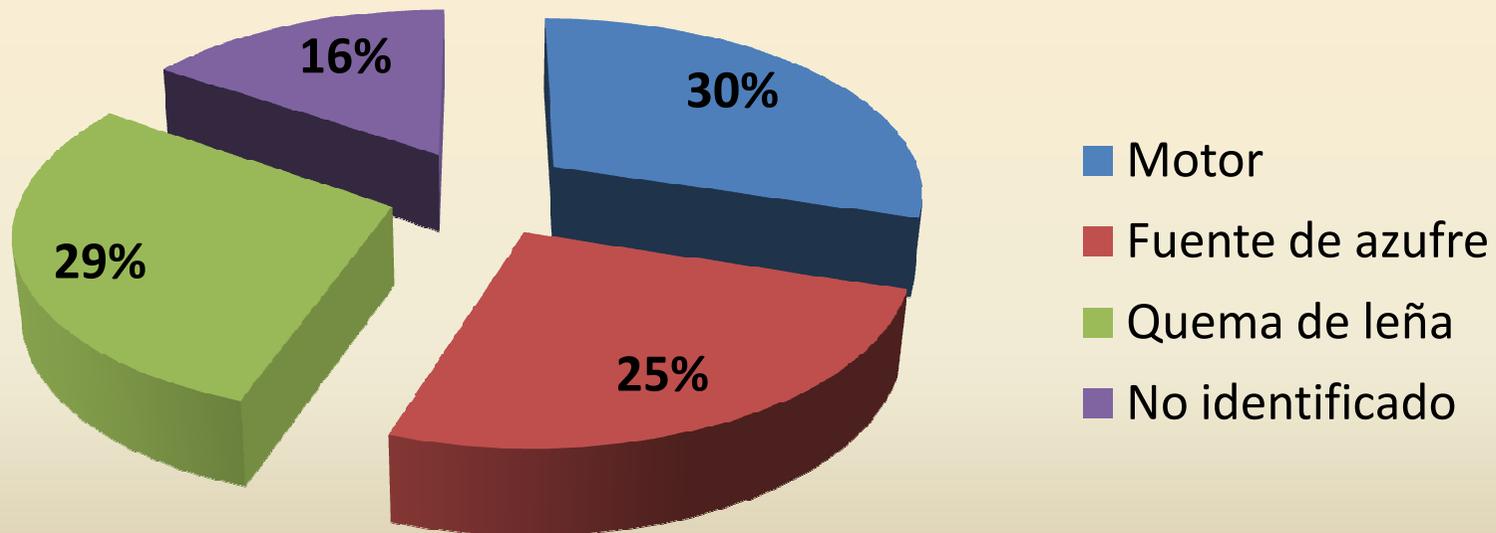
Leña: K



Universidad de Chile  
Facultad de Medicina  
Escuela de Salud Pública

## Temuco (Kavouras y col. 2001)

Porcentaje contribución



# Exposición a emisiones de tráfico

- Si emisiones de fuentes varían en composición y tamaño ¿Es esperable que tengan similares efectos en salud?
  - Son 10 ug/m<sup>3</sup> de tráfico igual a
  - 10 ug/m<sup>3</sup> de quema de leña?
  - 10 ug/m<sup>3</sup> de una planta generadora a carbón?
  - 10ug/m<sup>3</sup> de sulfato o nitrato?

# Exposición a emisiones de tráfico

- **Legislación actual considera a todos iguales**
- **Interés en estudios que muestren diferencias**

# Fuentes Material Particulado

- ¿Cómo afecta la contribución de fuentes en la salud de las personas?





Universidad de Chile  
 Facultad de Medicina  
 Escuela de Salud Pública

## Temuco (Kavouras y col. 2001)

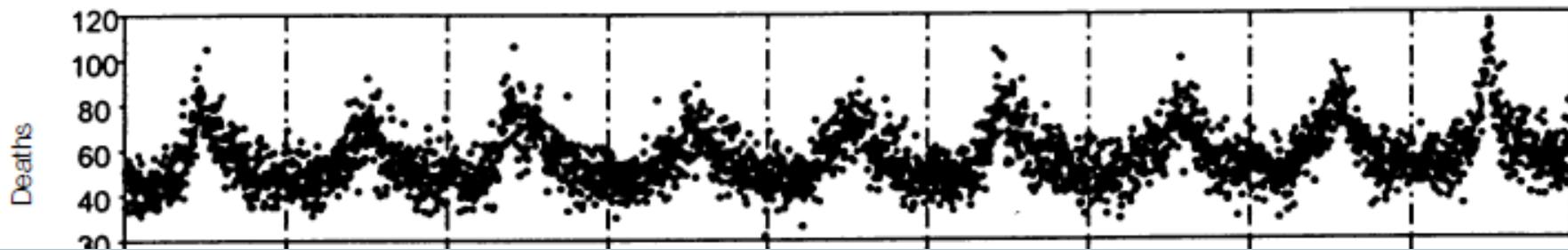
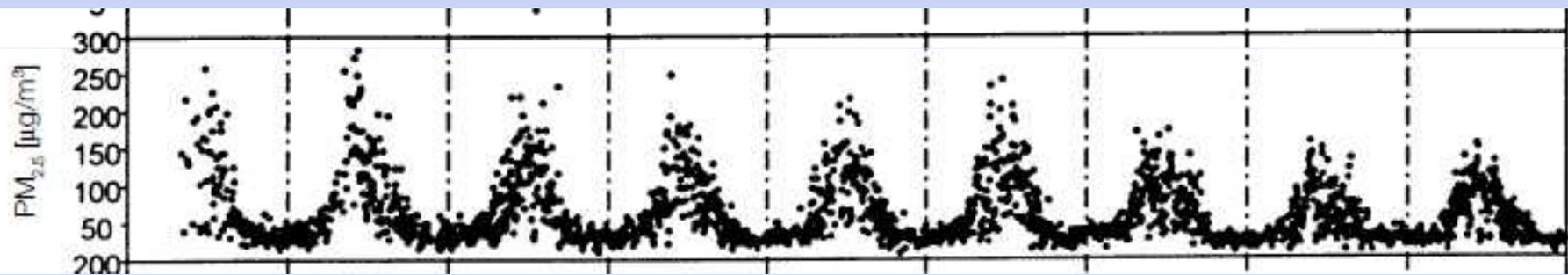
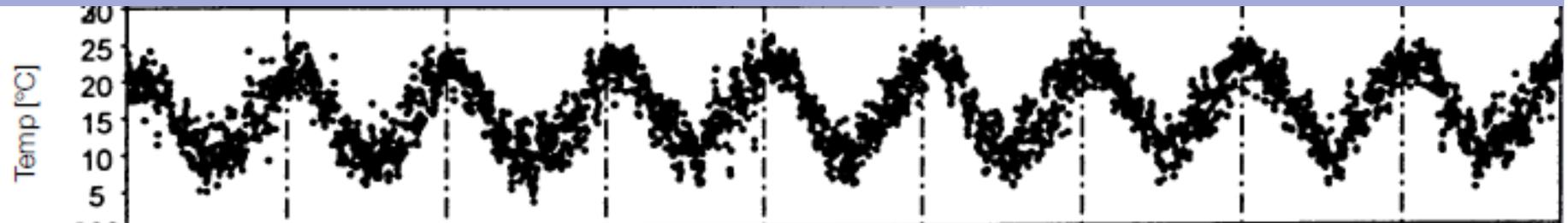
**Table 2.** Source contributions to PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and elemental ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) concentrations in Temuco.

	Motor Vehicle	Soil	Industry	Residential	Other	Total
Mass	10.9	-	-	-	-	5.3
Mg	-	2	-	-	-	8
Al	-	9	-	-	-	2
Si	-	19	-	-	-	88
P	-	1	1	0	3	5
S	-	-	550	-	550	567
K	201	-	-	-	-	13
Ca	-	6	-	-	-	1
Mn	3	2	-	-	-	4
Fe	44	9	-	-	-	32
Cu	2	-	-	-	-	4
Zn	15	-	-	-	-	9
Br	72	-	-	-	-	7
Rb	0	-	-	-	-	2
Sr	0	1	-	-	1	1
Pb	223	-	29	-	252	252

Motor: Pb, Br, Zn, Fe, Mn  
 Suelo: Mg, Al, Si, Ca, Fe  
 Azufre: S, K  
 Leña: K

“Puntaje” (Score) diario para cada factor  
 Cuanto MP2,5 atribuido a cada factor diariamente

# Series de tiempo – Mortalidad diaria



# Modelamiento

- **Regresión de Poisson**
- **Modelo estadístico de regresión**

$$\text{LOG(Casos)} = a + B1*\text{Factor1}+B2*\text{Factor2}+\text{etc..}$$

# Ejemplo Mortalidad

- **Estudio Harvard 6 ciudades (Laden 2000, EHP)**
- 6 ciudades de en noreste de EEUU
- Mediciones 1979-1988
  - MP2,5 diario. Elementos (XRF)
  - Mortalidad diaria

# Ejemplo

- Estudio Harvard 6 ciudades (Laden 2000)

**Table 6.** Percent increase in daily deaths and 95% CIs associated with a 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increase in mass concentration from a specific major source of fine particles by metropolitan area, six U.S. cities, 1979–1988.<sup>a</sup>

City	Mean daily no. deaths	Crustal (Si)		Motor (Pb)		Coal (Se)	
		Percent increase	95% CI	Percent increase	95% CI	Percent increase	95% CI
Boston <sup>b</sup>	59	—	—	1.2	-1.9–4.3	2.8	1.2–4.4
St. Louis	55	-3.0	-7.7–1.6	4.3	1.6–7.0	0.3	-1.1–1.6
Knoxville	12	-1.7	-20.0–17.0	5.2	1.2–9.2	0.8	-2.7–4.3
Madison	11	40.5	-26.8–112.5	6.3	-3.1–15.8	0.9	-2.5–4.2
Steubenville	3	-1.4	-7.1–4.2	-0.2	-20.5–20.5	1.1	-1.2–3.5
Topeka	3	7.0	42.4–27.0	0.2	29.0–13.1	3.0	11.2–3.5
Summary <sup>c</sup>		-2.3	-5.8–1.2	3.4	1.7–5.2	1.1	0.3–2.0

<sup>a</sup>Each multivariate model includes Loess smooth function of date with a span of 0.05, Loess functions of temperature and dew point temperature with spans of 0.80, indicator variables for day of the week, and all source factors simultaneously.

<sup>b</sup>The crustal factor was not a statistically significant predictor of fine mass in Watertown (Boston); therefore, it was not included in the analysis. <sup>c</sup>Summary estimates obtained by combining the city-specific regression coefficients using inverse variance weights.

# Estudio en Chile

“Efecto del MP2,5 atmosférico en la función y síntomas respiratorios de niños asmáticos: separación de efectos por masa, composición y potencial toxicológico”

# Estudio en Chile

Financiamiento FONDECYT

Pablo Ruiz

Verónica Iglesias

Daniella Vidal

Cecilia Brea

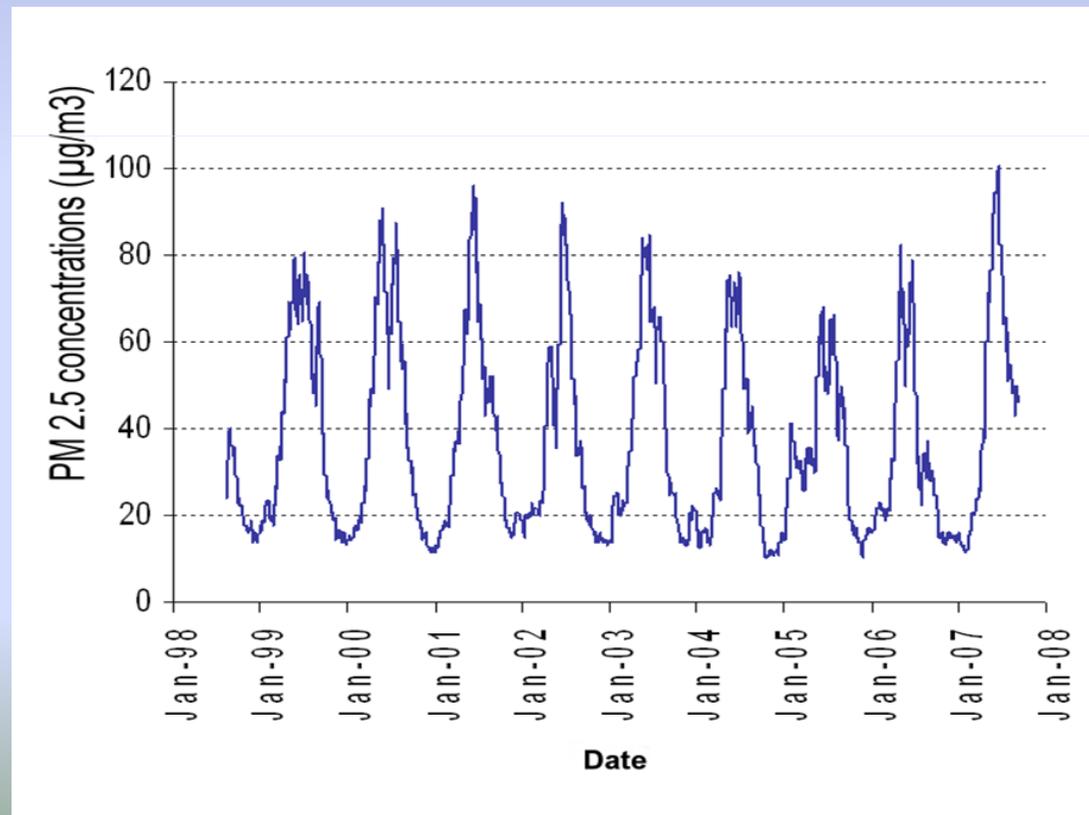
Laura Prieto

Viviana Olave

Jairo Vanegas

# Estudio en Chile

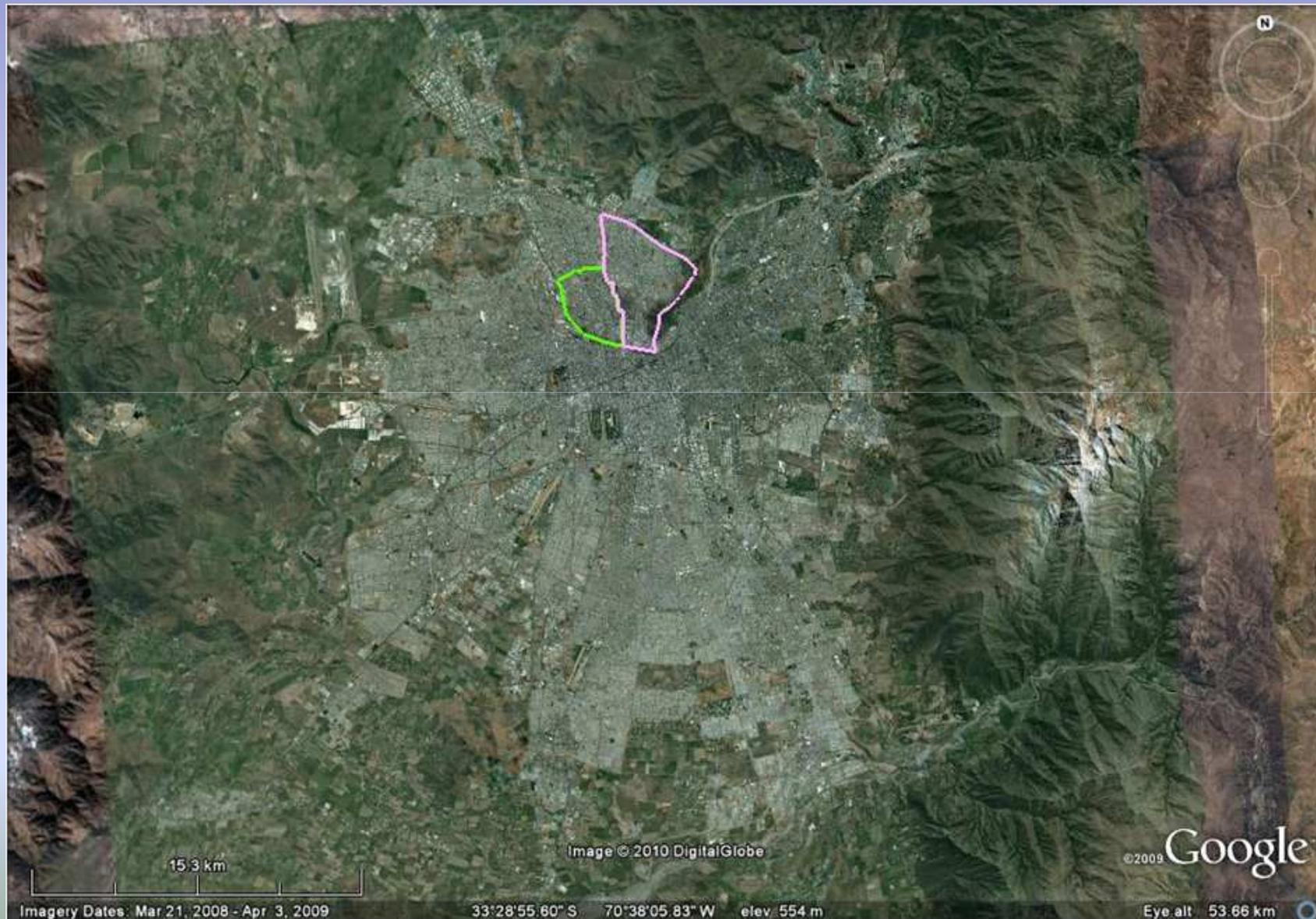
¿Existen componentes o fuentes de MP2,5 que tengan un mayor impacto en función respiratoria y síntomas respiratorios en niños asmáticos y no asmáticos en Santiago?



# Estudio en Chile

- Cohorte de niños
  - 100 niños asmáticos
  - 100 niños no asmáticos
  - Vivan y estudien en comuna de Independencia y Recoleta
  - Reclutados en Hospital Roberto del Río y consultorios cercanos

# Estudio en Chile



# Estudio en Chile

- Seguimiento
- 2010
  - 50 asmáticos y 50 no asmáticos
  - Junio – septiembre
- 2011
  - 50 asmáticos y 50 no asmáticos
  - Abril-Junio

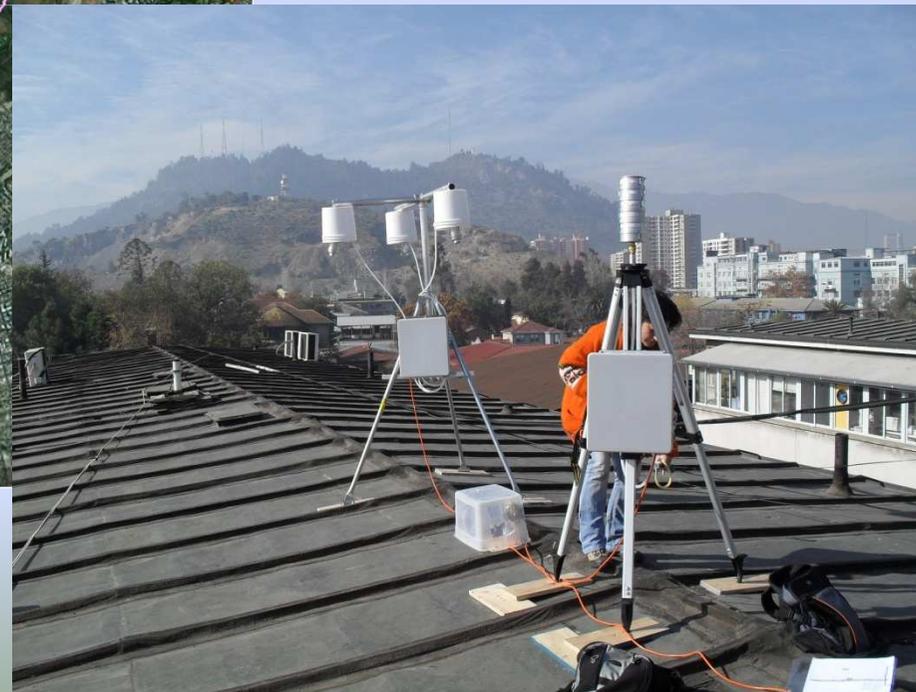
# Mediciones



- Efectos en salud
  - Función pulmonar cada 15 días
    - Espirimetría (VEF1)
  - Inflamación pulmonar cada 15 días en subgrupo
    - NO exhalado
- Síntomas respiratorios diarios
  - Sibilancias, tos persistente, pecho apretado, uso de medicación de rescate, etc...

# Exposición

- Mediciones diarias de MP2,5 en sitio central



# Exposición



- Mediciones con impactadores de Harvard

- Análisis

- Masa (gravimetría)
- Elementos (XRF)
- CECO (TOR)

# Análisis

- Asociación entre
  - FUNCIÓN RESPIRATORIA
  - SINTOMAS RESPIRATORIOS
  - **COMPOSICION (FUENTES)**

# Resultados esperados

- Orientar medidas de descontaminación para maximizar beneficios ambientales
  - Vehicular (autos/diesel)
  - Quema de leña
  - Industria
  - Polvo suspendido

# Conclusiones

- MP2,5 tiene alto impacto en salud de las personas
  - Mortalidad, Morbilidad
- Legislación actual sólo se enfoca en masa
- Nuevos estudios y técnicas permiten comparar el efecto de distintas fuentes y componentes
  - ¿Futuro con estándares específicos para fuentes o componentes?