



# Evolución de las principales fuentes de contribución al material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) en Santiago

[F. Barraza<sup>a,d</sup>](#), F. Lambert<sup>a,d</sup>, Ana M. Villalobos<sup>b</sup>, H. Jorquera<sup>b,e</sup>, L. Gallardo<sup>c,d</sup>

[fjbarraz@uc.cl](mailto:fjbarraz@uc.cl)

<sup>a</sup> Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Pontificia Universidad Católica de Chile

<sup>c</sup> Departamento de Geofísica, Universidad de Chile

<sup>d</sup> Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia

<sup>e</sup> Centro de Desarrollo Urbano Sustentable

# Índice

1. Introducción

2. Objetivo

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones and perspectivas

6. Referencies and agradecimientos

# 1. Introducción

¿Qué es el  $MP_{2,5}$  ?

¿De dónde viene? Modelo receptor

Historia de Santiago: 1989-2014

# ¿Qué es el material particulado Fino?

El material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) es una gama de partículas sólidas o líquidas en el aire con tamaño aerodinámico inferior 2.5 micrómetros

Asociación con la morbilidad y mortalidad diaria (U.S. EPA, 2004; OMS, 2006)

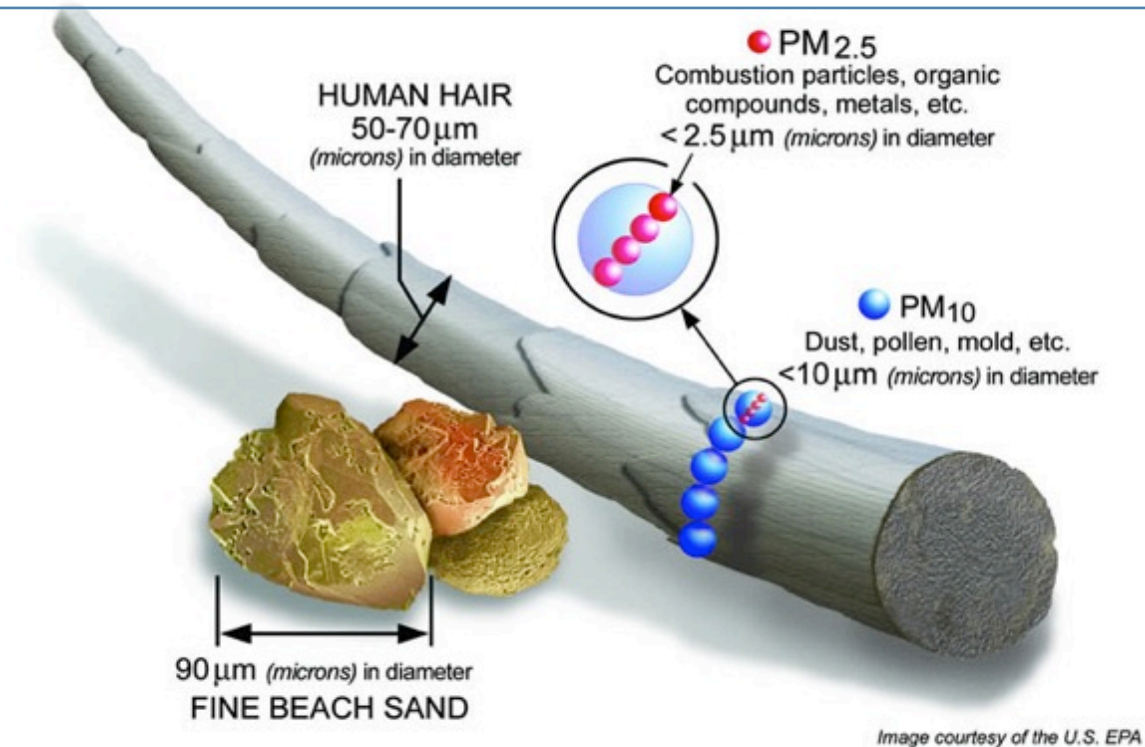


Imagen obtenida de US-EPA; <http://www.epa.gov>

# ¿De dónde viene el $MP_{2,5}$ ? Modelo receptor

Procedimiento matemático para identificar y cuantificar las principales fuentes que contribuyen a los niveles de un contaminante en un sitio o receptor



S, S/P, As, S/As



Pb, Ba, Mn, Cr,  
Zn, CE, CO



K, Kns (K/Fe),  
CO

**Figura 2:** Evolución de la concentración de  $MP_{2,5}$  y principales hitos, serie 1989-2014

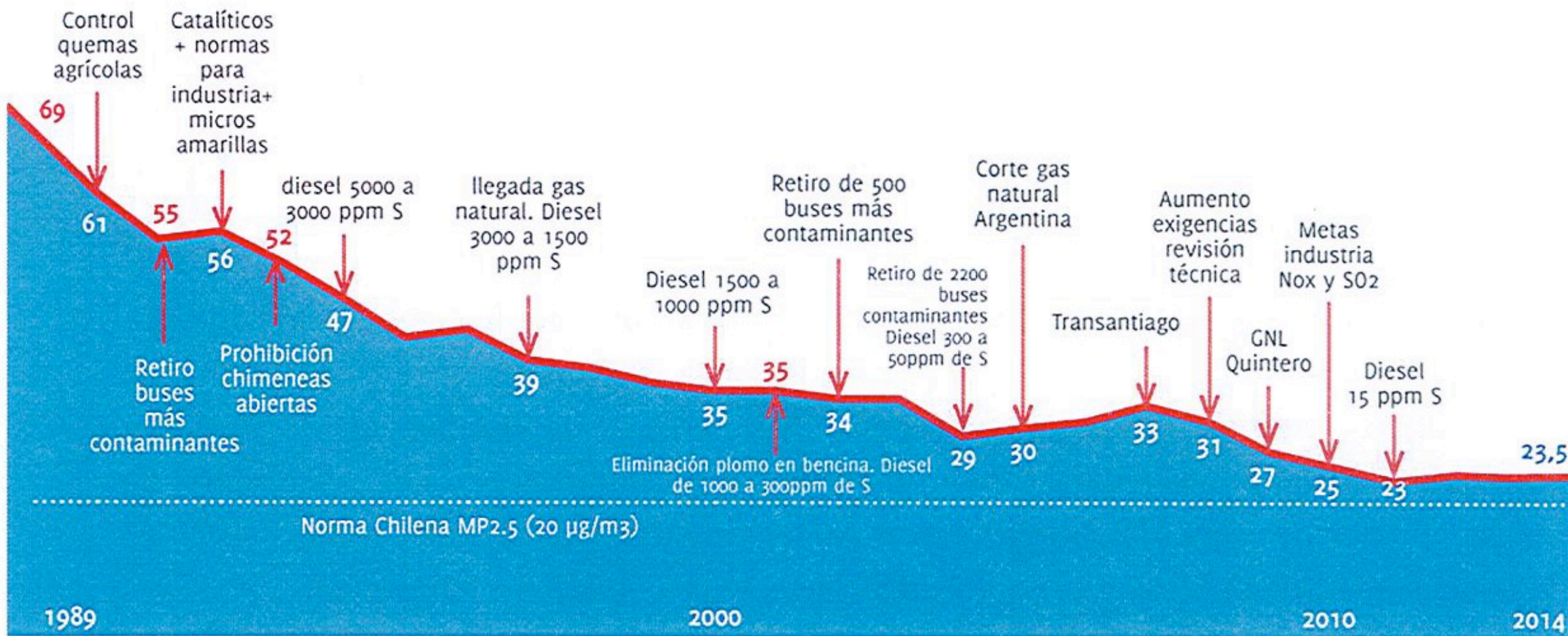


Imagen obtenida de: “Anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago” – Ministerio de medio ambiente [1]

Sitio, periodo, [referencia]	Centro, Julio-Agosto 1998 [2]	Centro, Junio-Diciembre 1999 [3]	Este, Junio-Diciembre 1999 [3]	Centro, 1998-2007 [4]	Las Condes 1999 [5]	Las Condes, 2004 [5]
<b>Sulfatos</b>				13.6	19	16
<b>Sulfatos + arsénico</b>		39	15			
<b>Sulfatos + fundiciones de cobre</b>	9.7					
<b>Fundiciones de cobre</b>					11	10
<b>Combustión de petróleo residual + industria</b>	23.2					
<b>Combustión de petróleo residual</b>				13.6		
<b>Vehículos motorizados + industria</b>			70			
<b>Vehículos motorizados</b>	35.8	40		12.3	28	31
<b>Quema de leña</b>					25	29
<b>Polvo de calle</b>	31.3	17	7	24.6	4	4
<b>Polvo de calle + industria</b>						
<b>Trabajo ene metal</b>		4				
<b>Aerosol marino</b>					13	10

## 2. Objetivo del estudio

Evaluar la evolución temporal de las principales  
fuentes de contribución a los niveles de  $MP_{2,5}$   
en Santiago, Chile

# 3. Metodología

Diseño general

1243 filtros de  $MP_{2,5}$



Análisis Químico



Contribution de fuentes

- Acumulación por 24-horas y cada 6 días.
- Colectados desde 1998 a 2012, por la autoridad ambiental

- Concentraciones elementales mediante fluorescencia de rayos X

2 modelos receptores

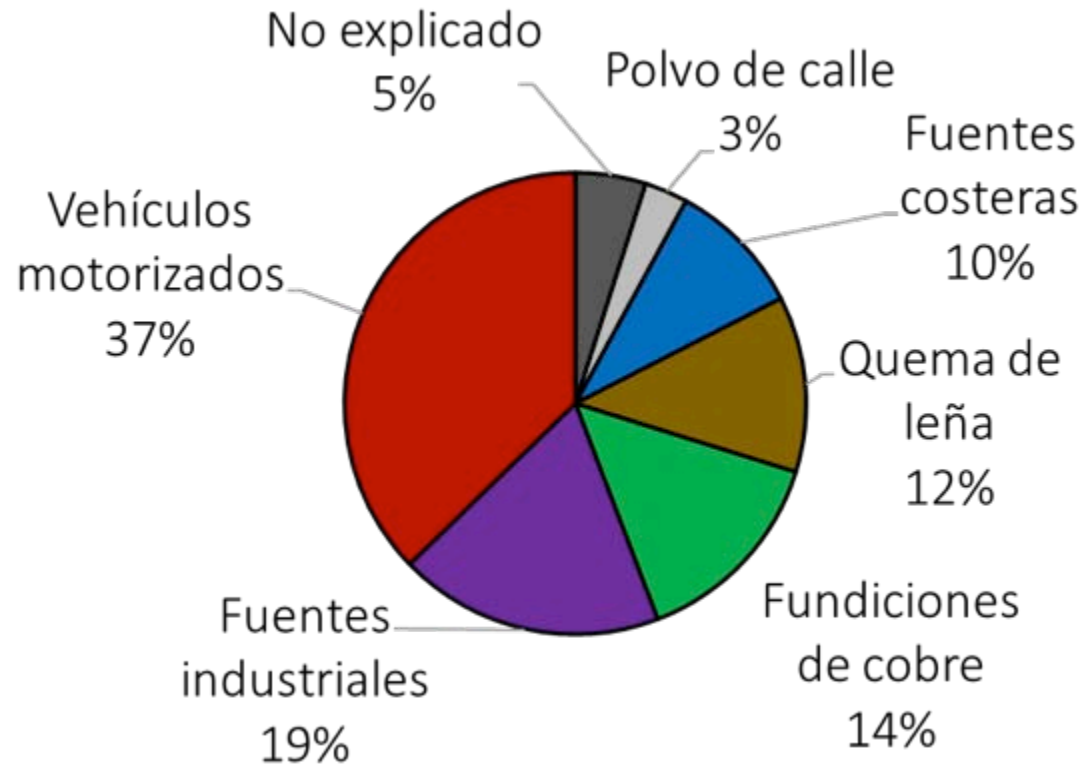
- EPA-PMF 5.0
- EPA-Unmix 6.0

Análisis de los cambios temporales de cada fuente

- Regresión Robusta para obtener una evaluación del cambio global (1998-2012)
- Test de Mann-Whitney with sliding windows para detectar transiciones abruptas dentro de cada serie de tiempo

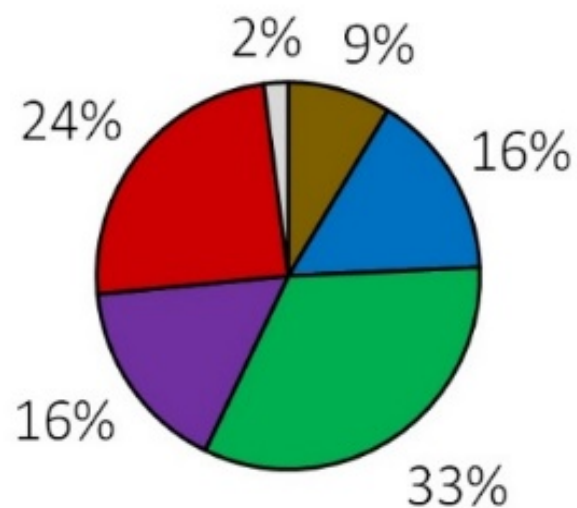
## 4. Resultados

## Fuentes de contribución al $MP_{2,5}$ en Santiago, desde 1998 al 2012.

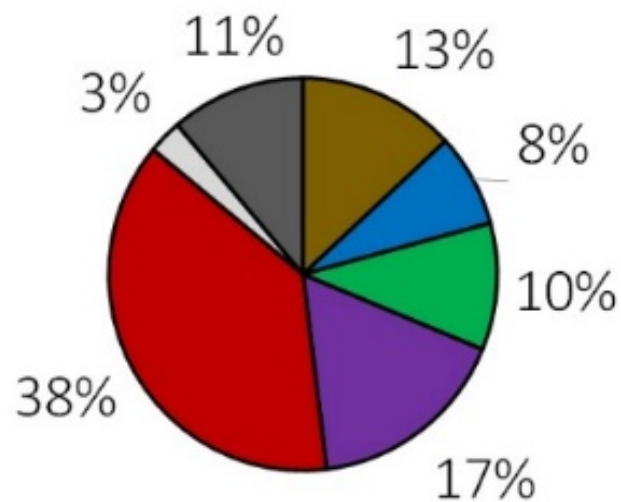


- Al, Si, S, Cl, non-soil K (Kns), Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn y As
- 74% of the variance

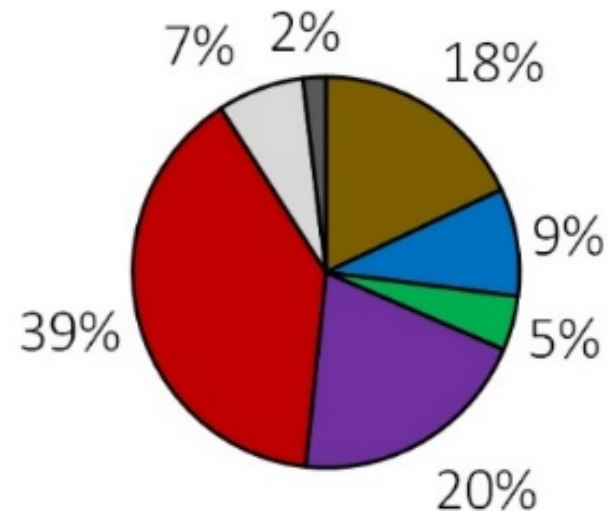
1998-1999 ( $33.5 \mu\text{m}^3$ )



2003-2005 ( $26.0 \mu\text{m}^3$ )



2011-2012 ( $17.19 \mu\text{m}^3$ )



wood burning

coastal sources

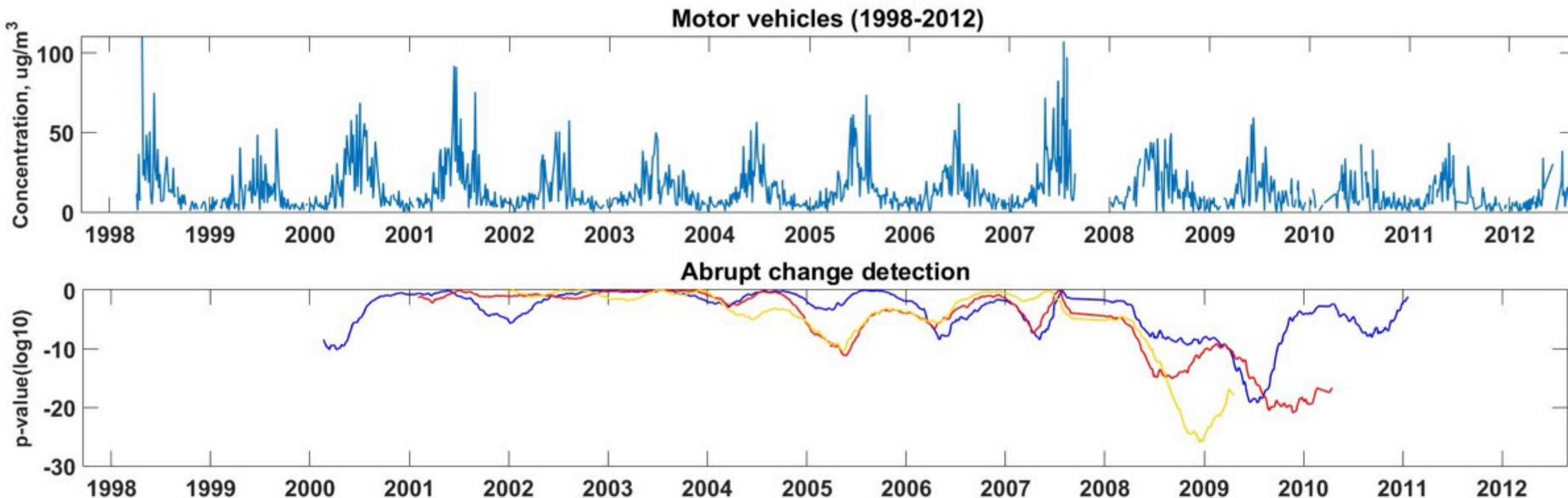
copper smelters

industrial sources

motor vehicles

urban dust

unexplained



21.30%



2000-2002	Reducción de 2.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mejora en la calidad de los combustibles. El plomo fue removido de las gasolinas
2007-2008	Incremento de 5.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cambio en el sistema de transporte público Alto aumento en el número de vehículos Aumento en el consumo de diésel para
2009-2010	Reducción de 3.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mejoras al sistema de transporte público

39.23%



## Fuentes Industriales

2002	Reducción de 2.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reducción en el contenido de azufre del petróleo a fines de los 90's
2005-2007	Incremento de 1.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reducción de las importaciones de gas natural desde Argentina.
2009-2010	Reducción de 1.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Apertura del Terminal Quintero, el cual permite la importación por barco de gas natural

81.46%



## Fundiciones de cobre

1998-2002	Reducción de 4.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Implementación de tecnologías de abatimiento de emisiones en la fundición de Caletones.
2010-2011	Reducción de 1.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reducción de $\text{SO}_2$ and MP provenientes de las fundiciones de Caletones and Ventana.

58.66%



## Coastal aerosol

2002-2005	Reduction of 1.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (77.46%)	Reducción en el contenido de azufre del petróleo
Since 2010	Reduction of 1.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (75.76%)	Apertura del Terminal Quintero.



## Quema de leña

2007-2008 **Incremento de** 1.16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ¿?

2009-2010 **Reducción de** 0.55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ¿?

72.19%



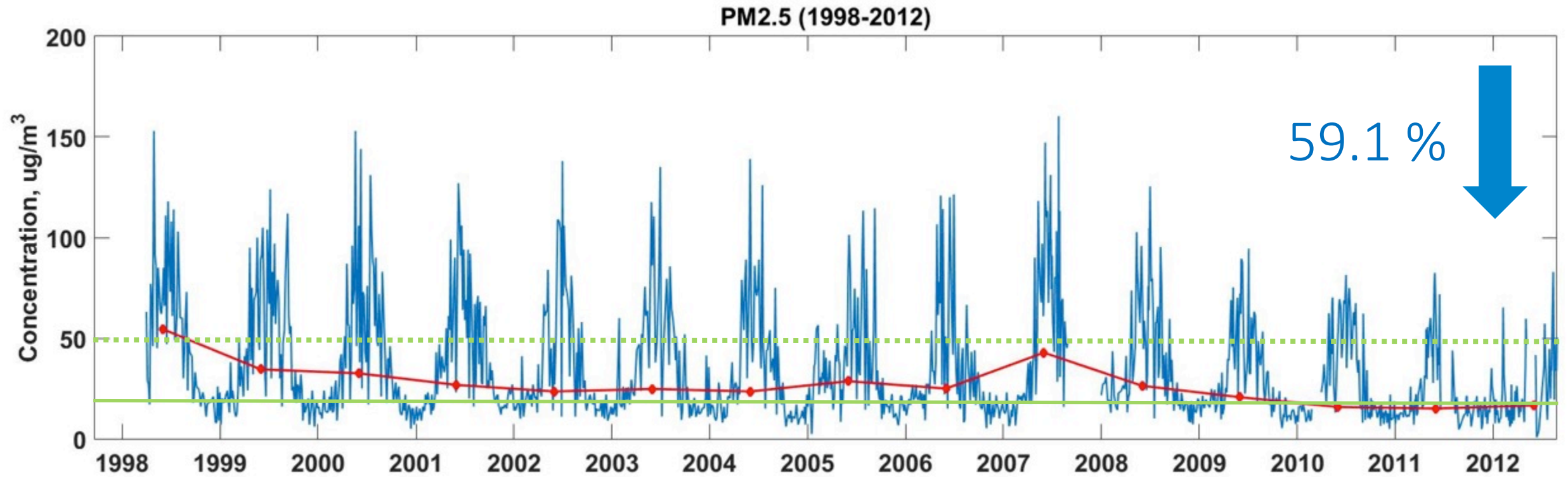
## Polvo de calle

2001-2002 **Reducción de** 0.42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Mejora en la calidad de los combustibles. El plomo fue removido de las gasolinas

Since 2004 **Incremento de** 0.67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Incremento en el número de vehículos motorizados (tasa anual de crecimiento del 4%).

Since 2011 **Incremento de** 0.48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Incremento en el número de vehículos motorizados (tasa anual de crecimiento del 7%).

## 5. Conclusiones



Linea verde: norma anual chilena de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Linea verde discontinua: norma 24-h chilena de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## 6. References and Acknowledgments

# References

- [1] MMA, 2015. Ministry of Environment - Anteproyecto del plan de prevención y descontaminación atmosférica para la región metropolitana de Santiago.
- [2] Artaxo, 1999. Aerosol characterization study in Santiago de Chile 1999. Caracterización Físicoquímica del Material Particulado Inorgánico Primario. Distribución por Tamaño y Modelo Receptor — 1999. technical report for the National
- [3] Artaxo, P., 1998. Aerosol characterization study in Santiago de Chile Wintertime 1998: Technical report for the National Commission of the Environment. Santiago.
- [4] Moreno, F., Gramsch, E., Oyola, P., Rubio, M.A., 2010. Modification in the soil and traffic-related sources of particle matter between 1998 and 2007 in Santiago de Chile. J. Air Waste Manage. Assoc. 60, 1410–1421. doi:10.3155/1047-3289.60.12.1410
- [5] Jorquera, H., Barraza, F., 2012. Source apportionment of ambient PM<sub>2.5</sub> in Santiago, Chile: 1999 and 2004 results. Sci. Total Environ. 435–436, 418–429. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.07.049

Francisco Barraza, Fabrice Lambert, Héctor Jorquera, Ana M. Villalobos, Laura Gallardo, **Temporal evolution of main ambient PM<sub>2.5</sub> sources in Santiago, Chile, from 1998 to 2012**, Atmospheric Chemistry and Physics (ACP), *Discussion*

# Acknowledgments

- Ministerio de medio ambiente por proporcionar los datos de análisis químico de los filtros.
- FONDECYT 3160639 and 1151427,
- FONDAP 15110009 (CR2) and 15110020 (CEDEUS)

Atmos. Chem. Phys. Discuss., doi:10.5194/acp-2017-18, 2017

Manuscript under review for journal Atmos. Chem. Phys.

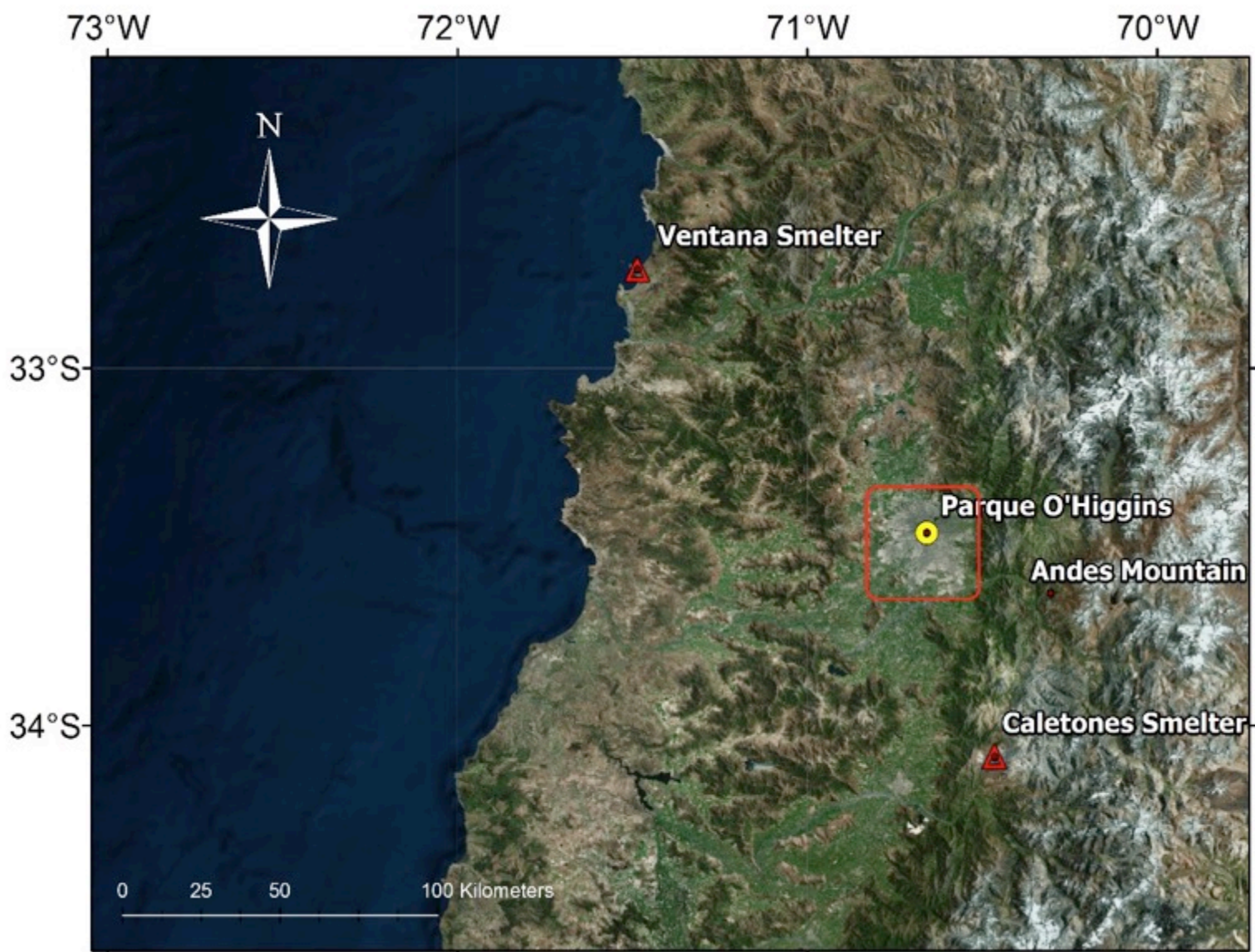
Published: 18 January 2017

© Author(s) 2017. CC-BY 3.0 License.



# **Temporal evolution of main ambient PM<sub>2.5</sub> sources in Santiago, Chile, from 1998 to 2012**

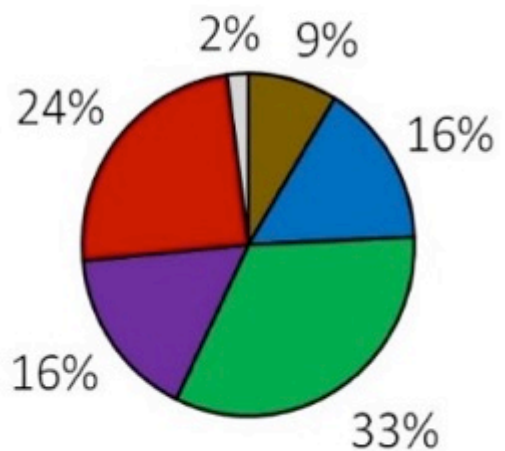
Francisco Barraza<sup>1,4</sup>, Fabrice Lambert<sup>1,4</sup>, Héctor Jorquera<sup>2,5</sup>, Ana María Villalobos<sup>2</sup>, Laura Gallardo<sup>3,4</sup>



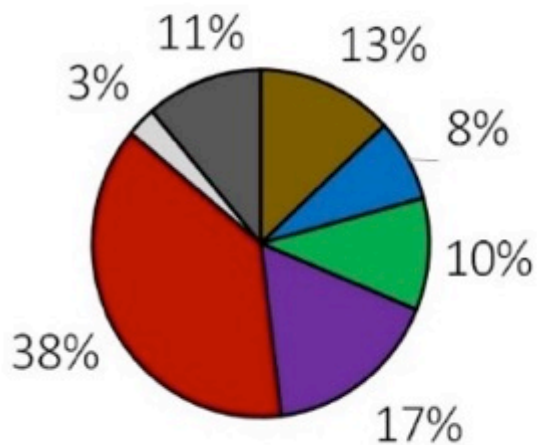
five source were declined by about [95% CIs ]:

- Motor vehicles 21,3% - [2.6, 36.5]
- Industrial sources 39.3 [28.6, 48.4]
- Copper smelters 81.5 [75.5, 85.9]
- Coastal sources 58.9 [38.5, 72.5]
- Wood burning didn't significantly change,
- Urban dust increase by 72% [48.9, 99.9].

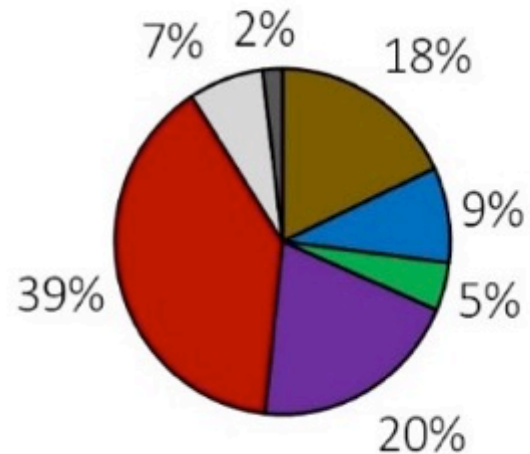
1998-1999 ( $33.5 \mu\text{m}^3$ )



2003-2005 ( $26.0 \mu\text{m}^3$ )



2011-2012 ( $17.19 \mu\text{m}^3$ )



wood burning

coastal sources

copper smelters

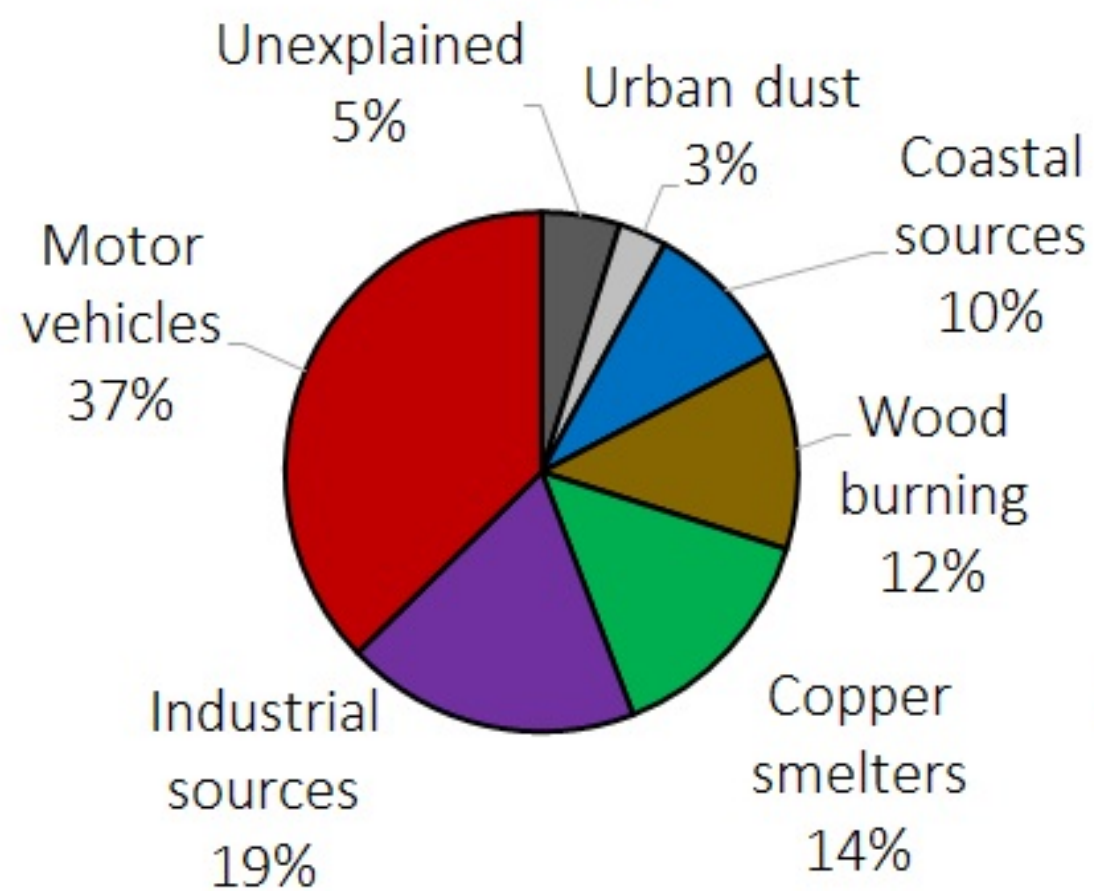
industrial sources

motor vehicles

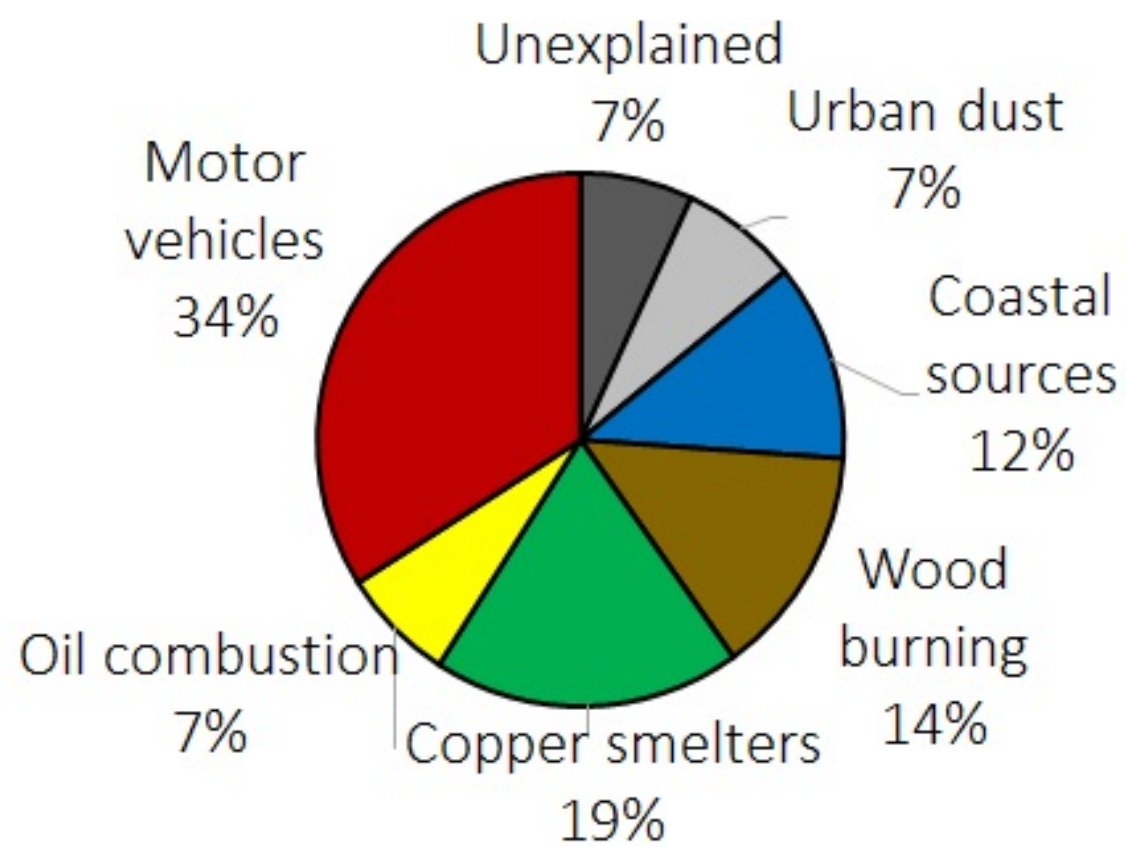
urban dust

unexplained

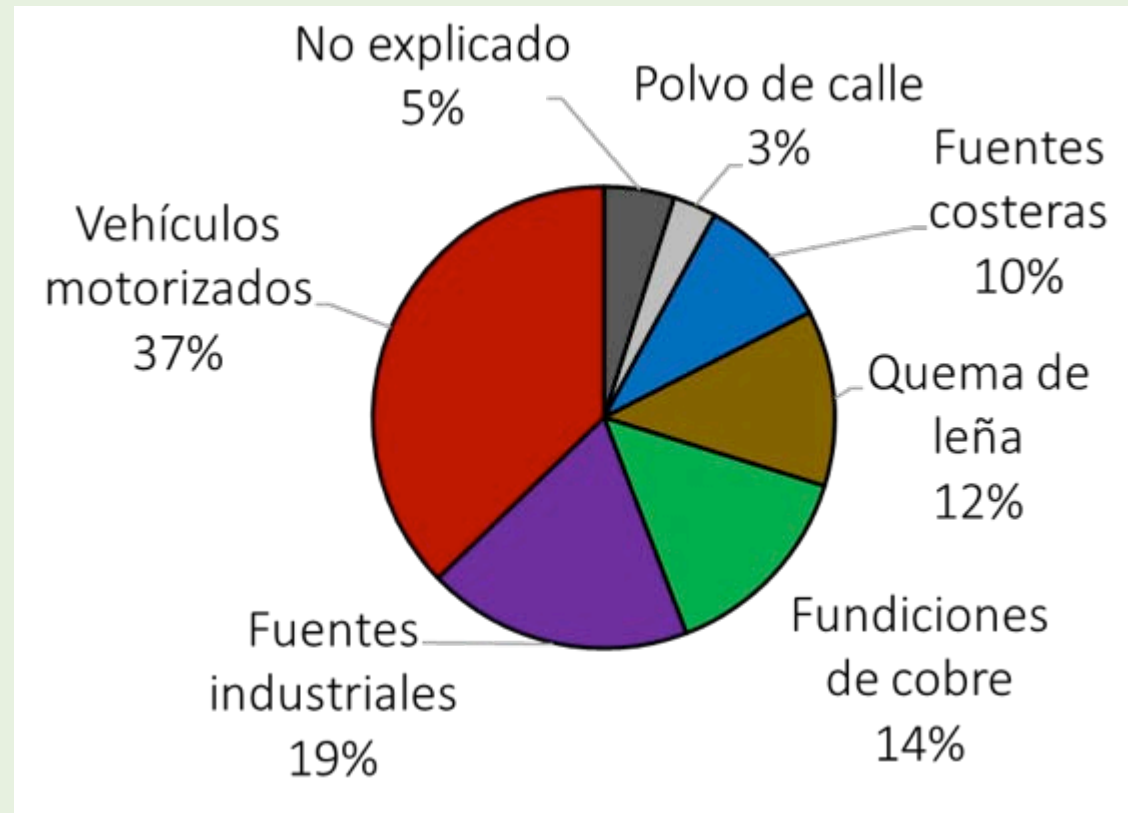
**PMF 5.0**



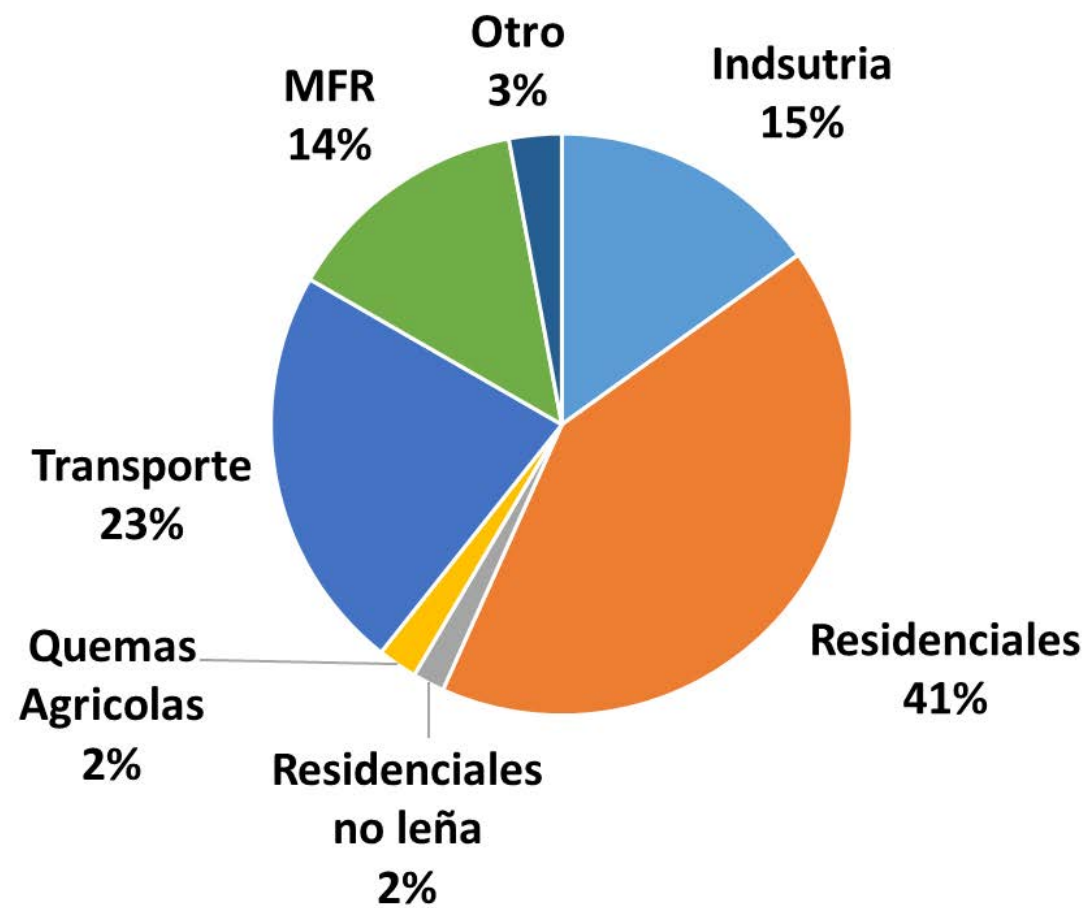
**Unmix 6.0**



## Fuentes de contribución al $MP_{2,5}$ en Santiago, desde 1998 al 2012.



Motor vehicles ( $37.3 \pm 1.1\%$ ), industrial sources ( $18.5 \pm 1.3\%$ ), copper smelters ( $14.4 \pm 0.8\%$ ), wood burning ( $12.3 \pm 1.0\%$ ), coastal sources ( $9.5 \pm 0.7\%$ ), and urban dust ( $3.0 \pm 1.2\%$ ).



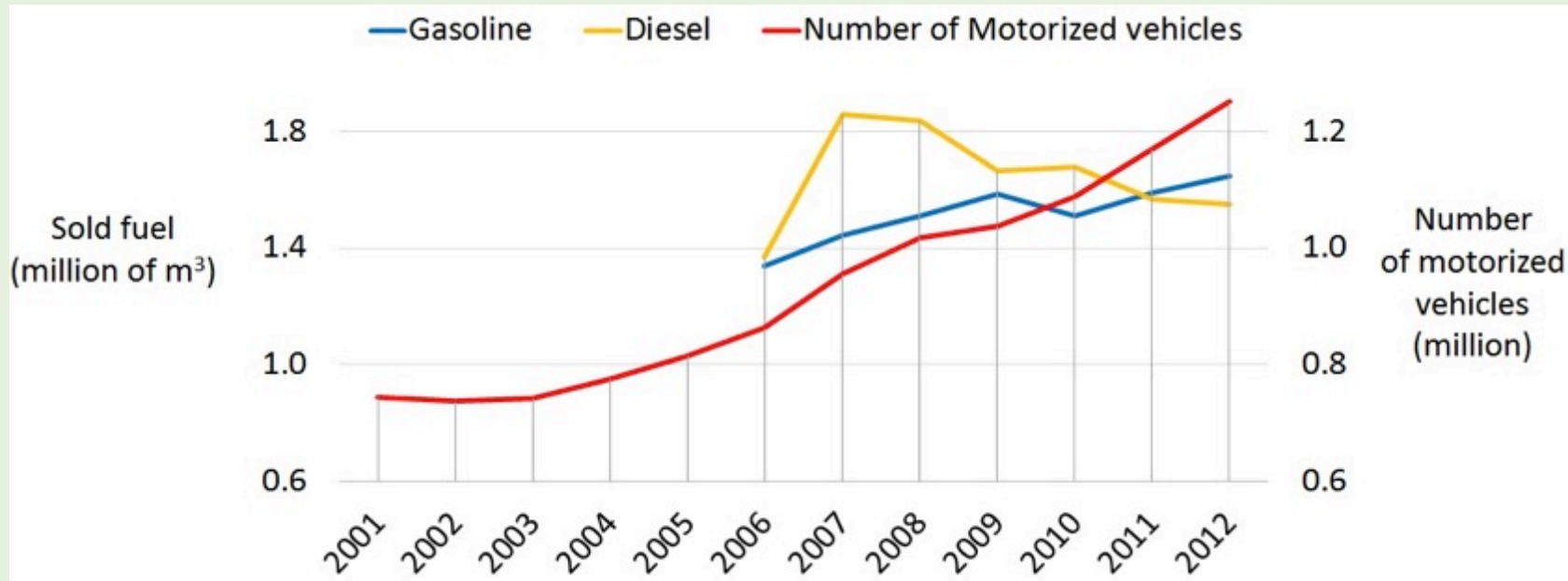


Figure S1 trend of number of motorized vehicles in Santiago city and the vehicles sold fuel. The data for number of motorized vehicles were provided by INE ([www.ine.cl](http://www.ine.cl)) and for the sold fuel by SEC ([www.sec.cl](http://www.sec.cl)).

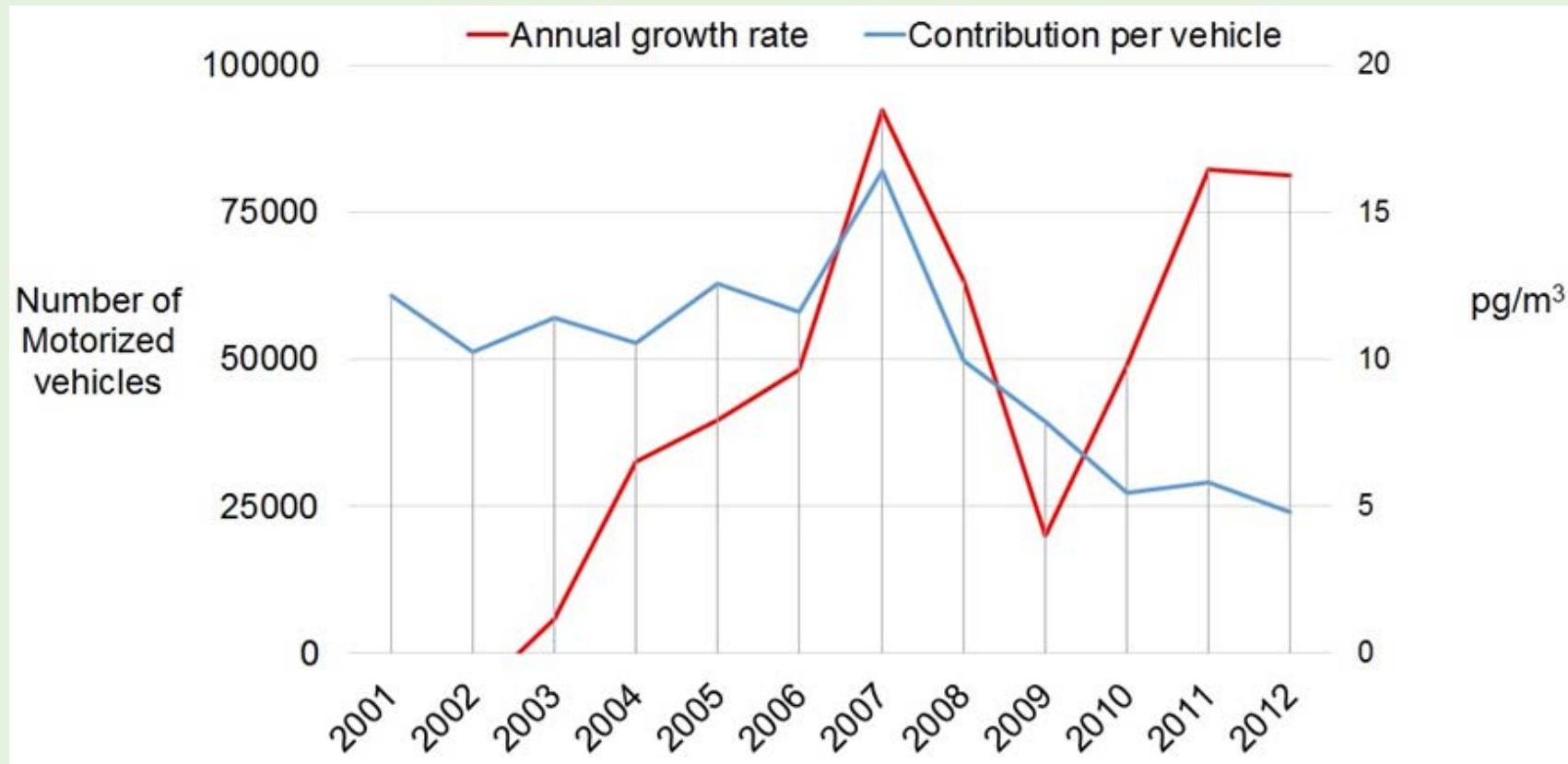
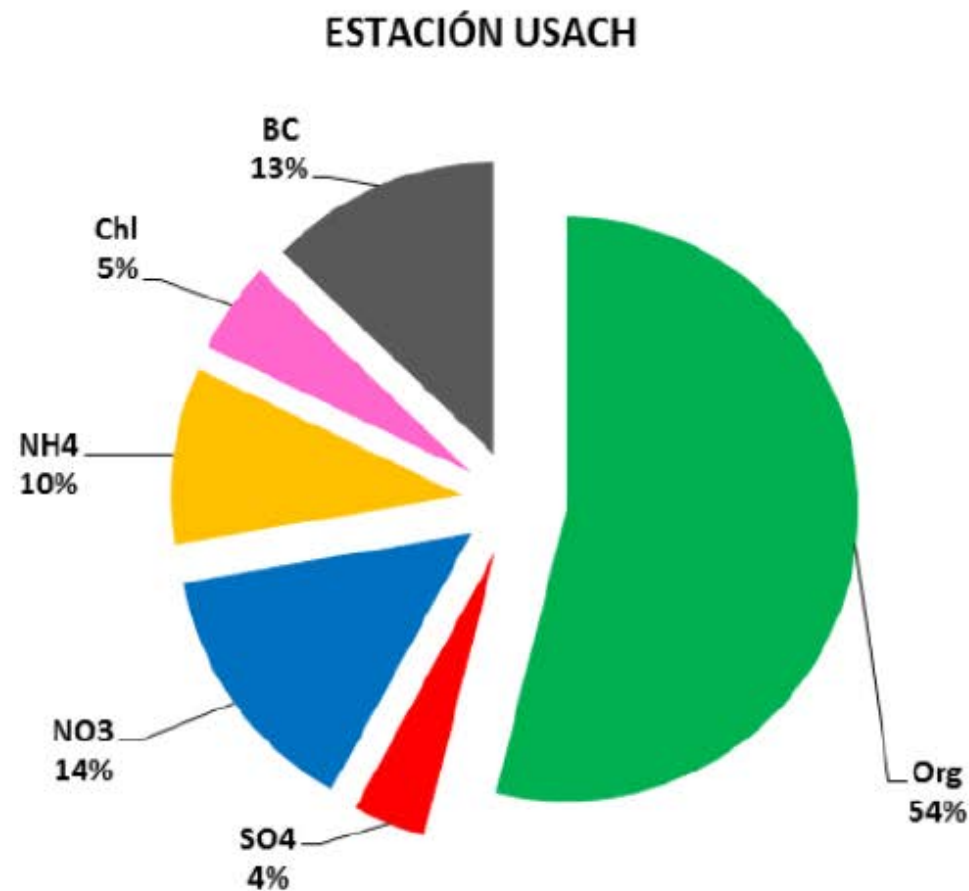


Figure S2 Trend of vehicles annual growth rate and contribution per vehicles for Santiago city. The data for number of motorized vehicles were provided by INE ([www.ine.cl](http://www.ine.cl))

	Chemical profiles					
	Wood burning	Coastal aerosol	Copper smelters	Industrial sulfates	Motor vehicles	Urban dust
Al	10.83	4.82	0.00	2.57	2.88	78.89
Si	10.07	1.34	3.65	1.81	9.47	73.65
S	8.24	0.00	18.86	65.47	4.88	2.54
Cl	0.93	89.58	0.00	1.59	0.60	7.31
Kns	79.52	3.40	4.28	12.81	0.00	0.00
Ti	0.00	7.97	0.29	3.24	18.34	70.15
Cr	2.17	4.17	4.17	3.94	82.37	3.17
Fe	3.38	7.09	5.91	0.66	45.52	37.43
Ni	0.35	8.56	3.31	19.48	56.66	11.65
Cu	1.35	5.28	21.42	6.83	58.94	6.19
Zn	1.17	9.91	11.85	6.79	65.71	4.57
As	0.13	4.74	79.29	4.81	11.04	0.00

Source	Autumn	Winter	Spring	Summer
PM <sub>2.5</sub>	43.9 (±19.3)	48.8 (±18.8)	16.0 (4.0)	16.7 (±4.7)
Wood burning	5.27 (±0.82)	14.95 (±1.77)	3.94 ± 0.48	2.85 ± 0.24
Coastal Aerosol	3.21 (±0.43)	1.86 (±0.44)	1.12 ± 0.42	not significant
Copper Smelter	5.67 (±0.62)	3.62±(0.52)	3.57 ± 0.24	3.20 ± 0.84
Industrial Sources	7.89 (±0.88)	5.39 ±(1.04)	6.10 ± 0.37	5.28 ± 0.59
Vehicles	11.70 (±0.74)	10.84 ±(0.83)	7.85 ± 0.64	7.72 ± 1.34
Urban Dust	2.57 (±0.60)	not significant	not significant	2.34 ± 0.66
Days over Chilean standard	138	149	2	4
Days over WHO guidelines	265	257	32	45
No of Samples	343	315	292	294



**Figura 24.** Composición química del material particulado fino en una estación de fondo de Santiago (Usach). Datos tomados del estudio realizado por el Centro Mario Molina para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2011.

	Rojas; Centro, Enero-Febrero 1987	Artaxo; Centro, Julio-Agosto 1996	Artaxo; Centro, Julio-Agosto, 1998	Artaxo: Centro, Junio- Diciembre, 1999	Artaxo; Este, Junio- Diciembre, 1999	Moreno; Centro, Abril-Agosto, 1998-2007;
<b>Sulfatos</b>	49					13.6
<b>Arsénico</b> + Sulfatos				39	15	
<b>Fundiciones de Cobre</b> + Sulfatos			9.7			
Fundiciones de Cobre		8.7				
<b>Industria</b> + Sulfatos		64				
<b>Combustión de petróleo</b> + Industria			23.2			
Combustión petróleo	13	1.9				13.6
<b>Motor de vehículos</b> + Industria					70	
Motor de vehículos		16	35.8	40		12.3
<b>Quema de Leña</b> + tráfico	26					
<b>Polvo de calle</b> + Quema de leña	5.6					
Polvo de Calle		15.5	31.3	17	7	24.6
<b>Trabajos en metal</b> + Polvo de calle	6.4					
Trabajos en Metal				4		

# Aplicación de PMF en Santiago



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



Source apportionment of ambient PM<sub>2.5</sub> in Santiago, Chile: 1999 and 2004 results

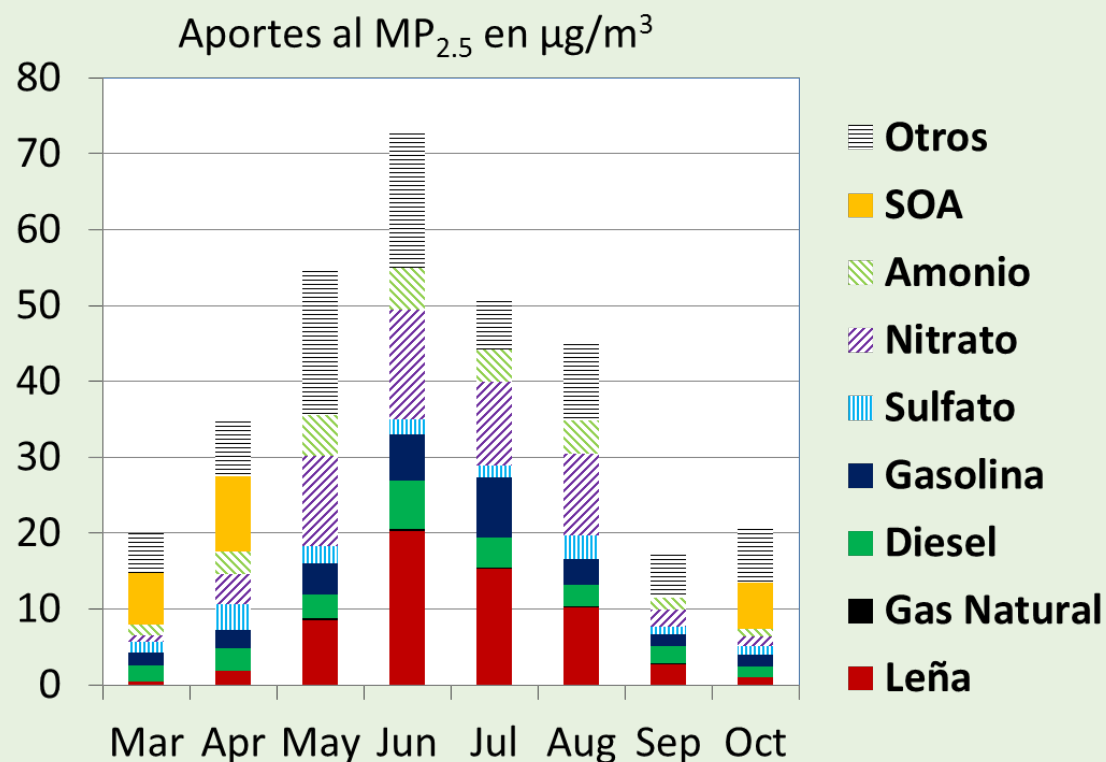
Héctor Jorquera\*, Francisco Barraza

Fuente	1999 (µg/m <sup>3</sup> ) 34.2	2004 (µg/m <sup>3</sup> ) 25.1	Comentarios
Vehículos	10.58 ± 0.95	9.99 ± 1.70	Estacionalidad en invierno Disminución fin de semana
Quema de leña	9.39 ± 0.85	9.27 ± 1.04	Estacionalidad en invierno aumento el fin de semana Contribuciones verano por Incendios
Sulfatos secundarios	7.11 ± 0.65	5.2 ± 0.80	Trayectorias de viento: Caletones, Ventanas, Chagres
Aerosol Marino	4.93 ± 0.79	3.18 ± 0.47	Trayectorias de viento desde la costa
Fundiciones de Cobre	4.35 ± 0.52	3.12 ± 1.60	Trayectorias de viento: Caletones, Ventanas, Chagres
Polvo de calle	1.50 ± 0.57	1.23 ± 0.60	

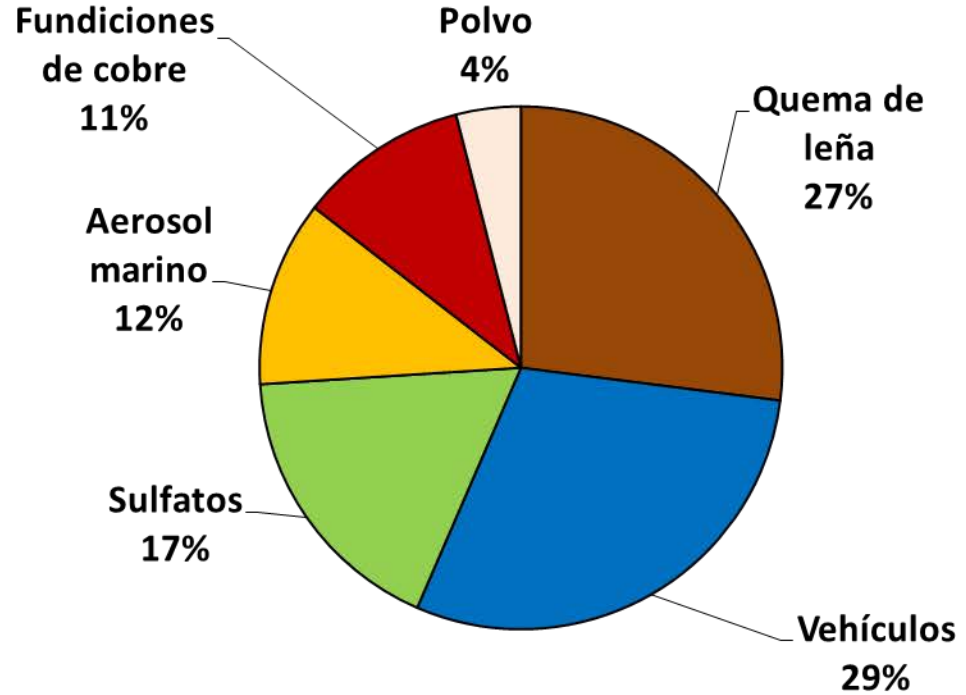
# Aplicación de CMB – Especiación orgánica



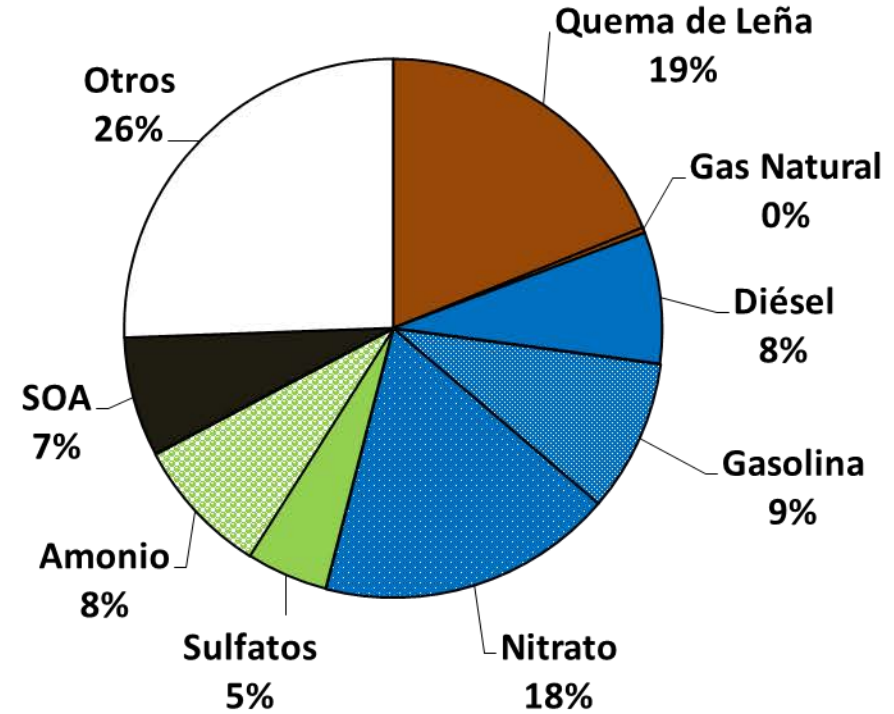
Fuente	Contribución ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Quema de Leña	$7.50 \pm 7.33$
Gas Natural	$0.13 \pm 0.12$
Emsiones Diesel	$3.12 \pm 1.47$
Vehículos a Gasolina	$3.63 \pm 2.35$
36% de total de $\text{PM}_{2.5}$	
<b><math>\text{PM}_{2.5}</math></b>	<b><math>39.63 \pm 19.91</math></b>



**1999/2004 (PMF)**



**2013 (CMB + Iones)**





Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

# Atmospheric Environment

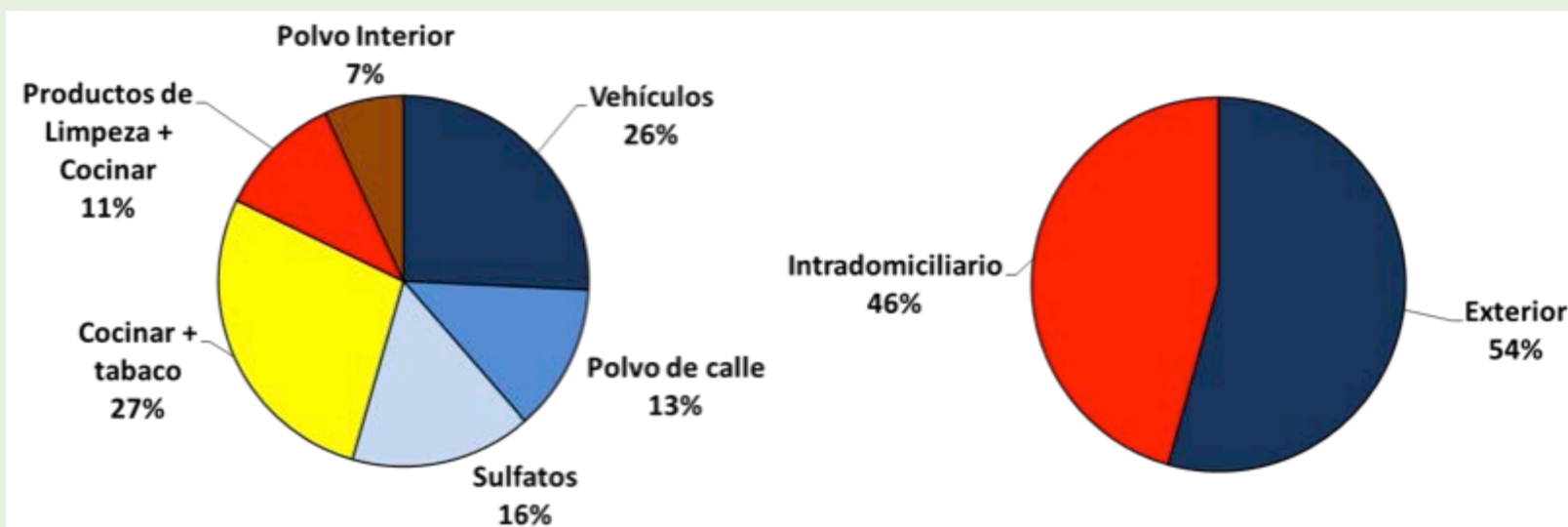
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/atmosenv](http://www.elsevier.com/locate/atmosenv)

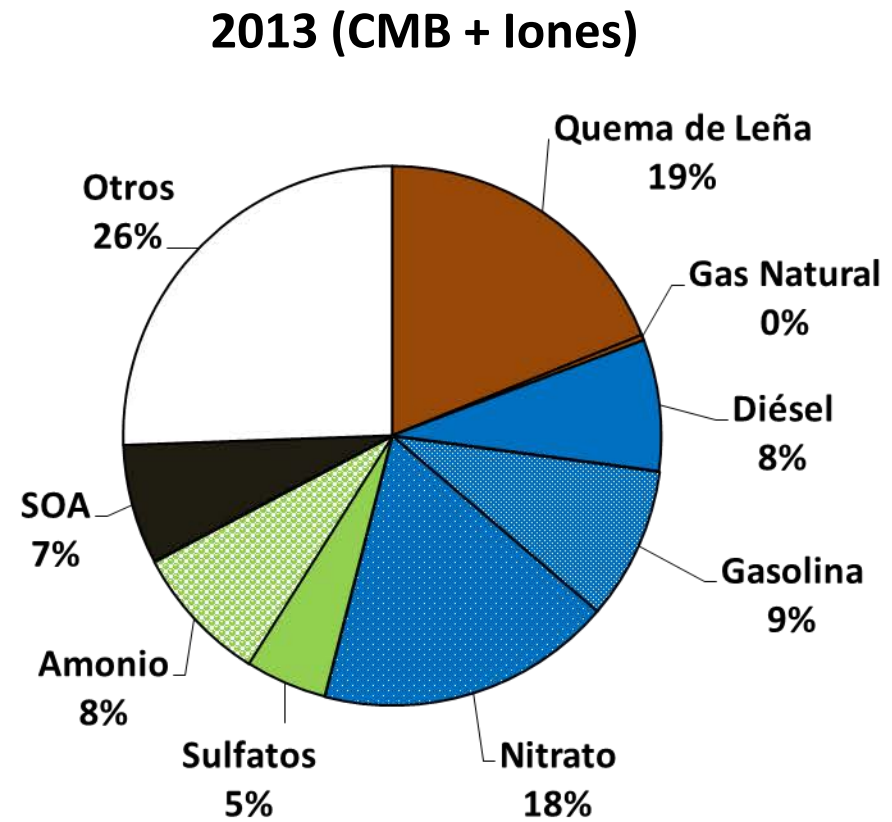
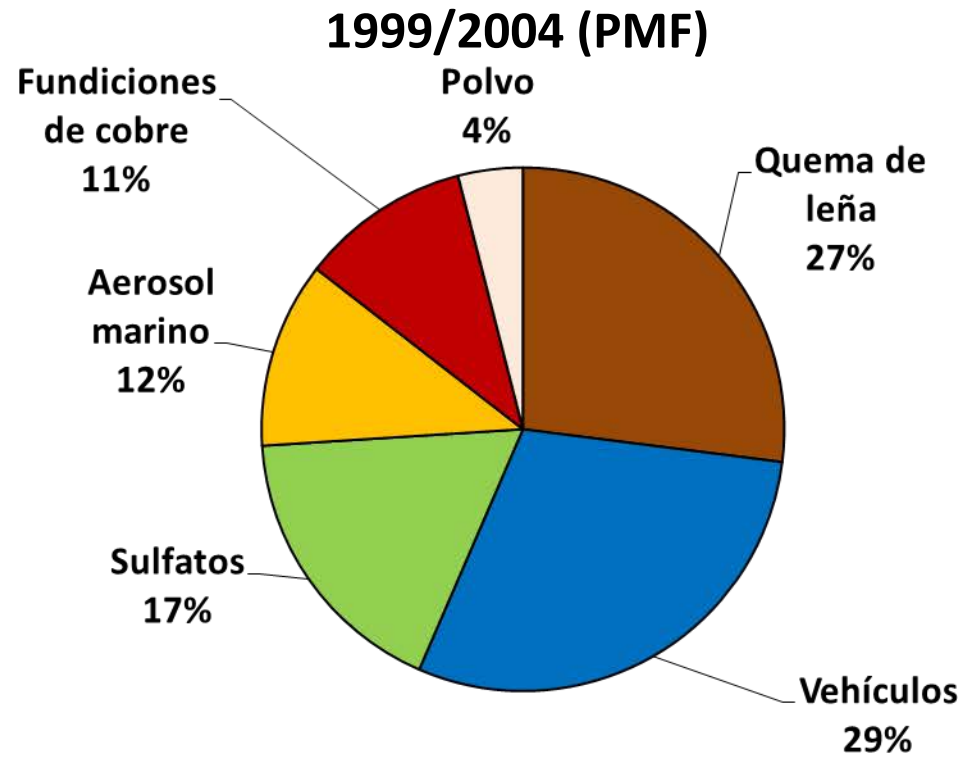


## Indoor PM<sub>2.5</sub> in Santiago, Chile, spring 2012: Source apportionment and outdoor contributions

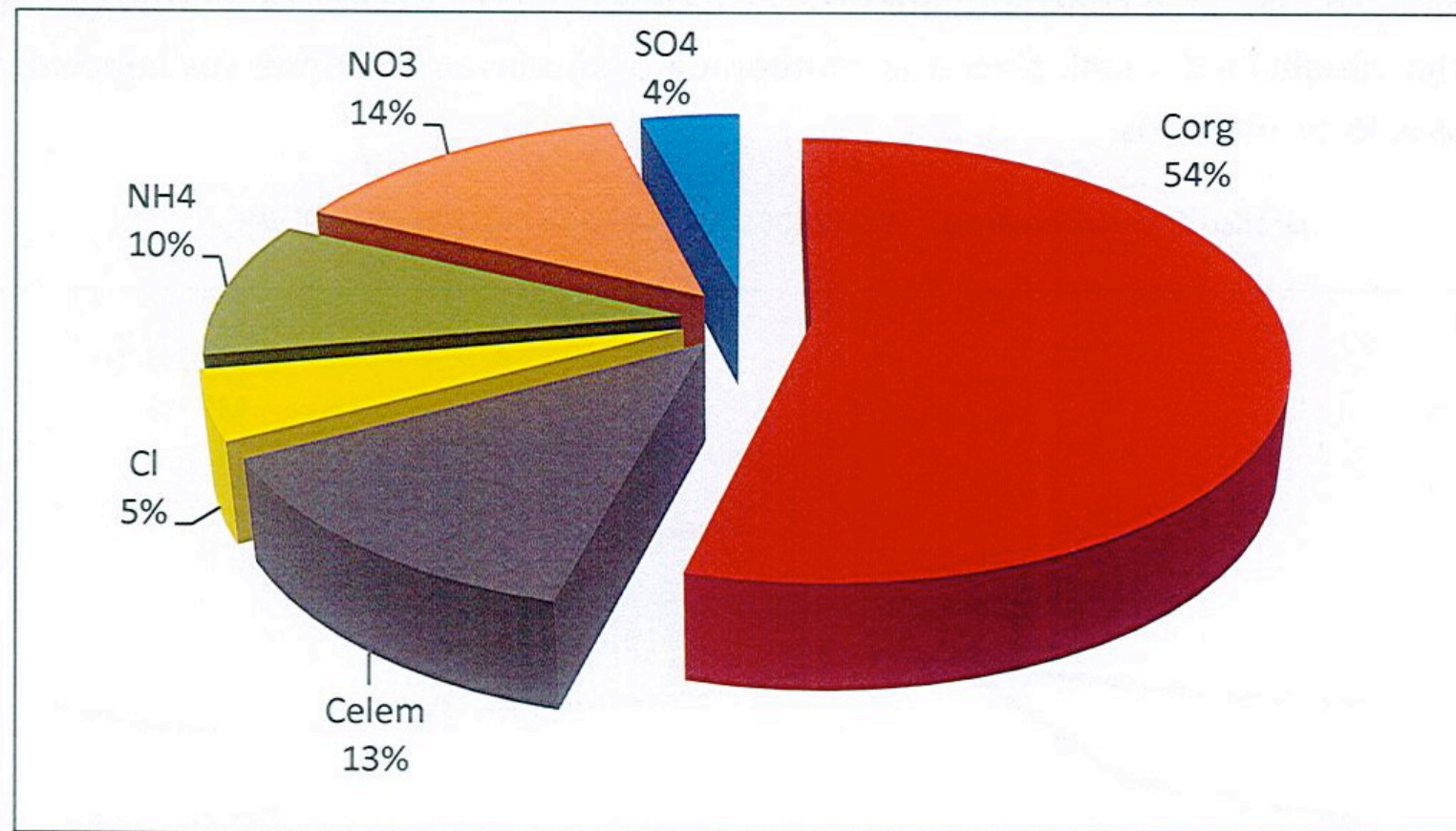


Francisco Barraza <sup>a</sup>, Héctor Jorquera <sup>a,\*</sup>, Gonzalo Valdivia <sup>b</sup>, Lupita D. Montoya <sup>c</sup>





**Gráfico 3:** Aporte relativo de los principales componentes del  $MP_{2,5}$  (masa total 49,6  $\mu g/m^3$ ) en la RM (USACH), 2011



# Perspectivas para futuras Investigaciones

## Exterior

Realizar contribución de fuentes en otros lugares de Santiago

Realizar contribución de fuentes otras ciudades con mayor uso de leña?

Realizar contribución de fuentes  $PM_{10}$

Profundizar sobre emisiones de SOA

## Interior

Investigar cuál es la situación de las viviendas en invierno

# Recomendaciones

Disminuir la infiltración en las casas

Utilizar campanas con filtros en cocinas

Eliminar malos hábitos como:

- Uso excesivo del auto

- Uso de Leña

- Disminuir el Consumo de tabaco, especialmente Intradomiciliario

- Exceso de productos de limpieza

# Monitoreo Exterior 2012



2 Partisol 2000i (Thermo-Scientific)

Filtros de Teflón y Cuarzo de 47 mm

Flujo 16.7 L/min por 24 horas

# Monitoreo Exterior 2013



2 Partisol 2000i (Thermo-Scientific)

Filtros de Teflón y Cuarzo de 47 mm

Flujo 16.7 L/min por 24 horas

# Monitoreo Interior



2 TAS (Airmetrics, USA)

Filtros de Teflón y Cuarzo de 47 mm

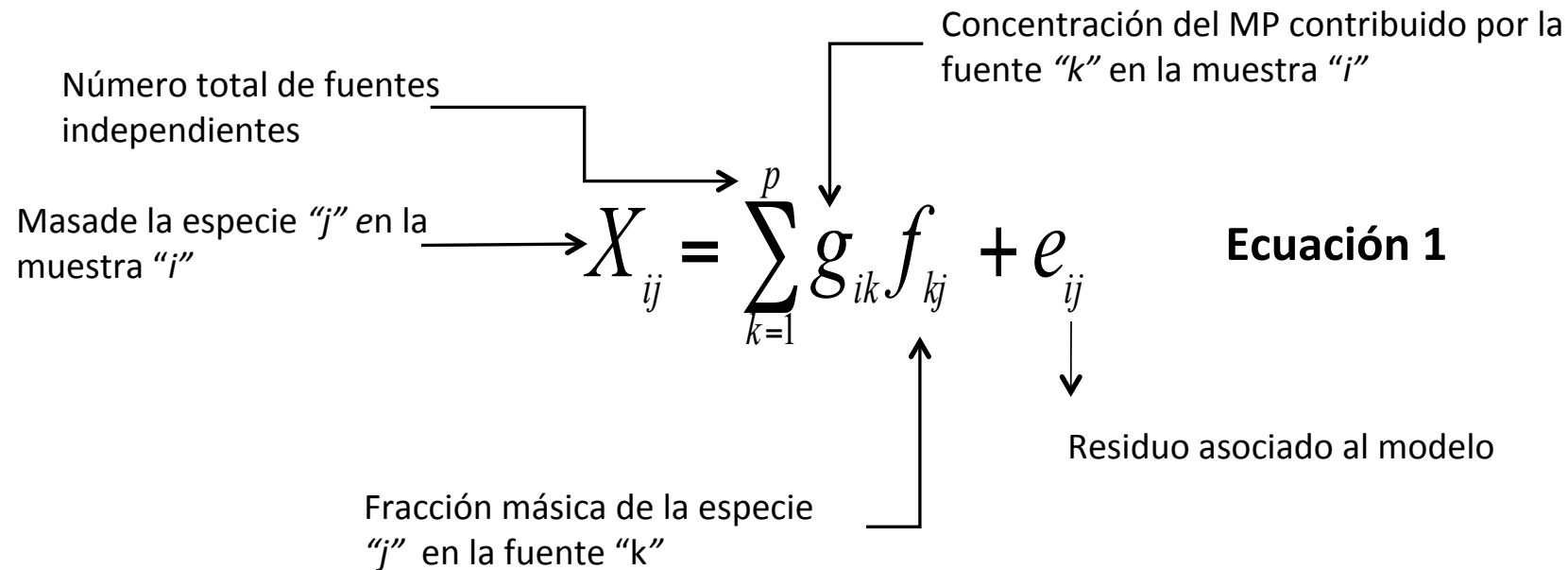
Flujo 5 L/min por 48 horas

Sensor HOBO (HR y T cada 10 min)

# Contribución de Fuentes

# Contribución de fuentes al MP<sub>2.5</sub>

El modelo puede establecerse en términos de la contribución de  $p$  fuentes independientes de todas la especies químicas en la muestra de MP<sub>2.5</sub>.



The diagram illustrates Equation 1, which models the mass concentration of a chemical species in a sample as a sum of contributions from multiple sources plus a residual. The equation is  $X_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj} + e_{ij}$ . Annotations include: 'Número total de fuentes independientes' pointing to the summation limit  $p$ ; 'Masade la especie "j" en la muestra "i"' pointing to  $X_{ij}$ ; 'Concentración del MP contribuido por la fuente "k" en la muestra "i"' pointing to  $g_{ik}$ ; 'Fracción másica de la especie "j" en la fuente "k"' pointing to  $f_{kj}$ ; and 'Residuo asociado al modelo' pointing to  $e_{ij}$ . The title 'Ecuación 1' is positioned to the right of the equation.

Número total de fuentes independientes

Masade la especie "j" en la muestra "i"

Concentración del MP contribuido por la fuente "k" en la muestra "i"

Fracción másica de la especie "j" en la fuente "k"

$X_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj} + e_{ij}$

**Ecuación 1**

Residuo asociado al modelo

# Contribución Indoor/outdoor al MP<sub>2.5</sub>

$$X_{tj}^I = \sum_{p=1}^N g_{tp}^I f_{jp} + \sum_{p=N+1}^{N+H} g_{tp}^I f_{jp} ; (\text{indoor samples}) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$X_{tj}^O = \sum_{p=1}^N g_{tp}^O f_{jp} (\text{outdoor samples}) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- $X_{tj}^I$  and  $X_{tj}^O$  son las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> indoor y outdoor del día  $t$  para la especie  $j$ .
- $g_{tp}^I$  and  $g_{tp}^O$  son las contribución de la fuente  $p$  para el día  $t$ .
- $f_{jp}$  es la concentración relativa de la especie  $j$  en la fuente  $p$ .
- El índice  $p=1, \dots, N$  representa las fuentes outdoor sources,
- El índice  $p=N+1, \dots, N+H$  representa las fuentes indoor.
- En conjunto  $\{f_{1p}, f_{2p}, \dots, f_{jp}\}$  es el perfil de fuente para la fuente  $p$ , mientras  $J$  representa el numero total de especies analizadas en las muestras de MP<sub>2.5</sub>.

# Contribución de fuentes al $MP_{2.5}$

- Número infinito de posibles soluciones para el problema de análisis de factores que corresponden a rotaciones arbitrarias de las matrices G y F
- Las restricciones físicas de no-negatividad tanto de las composiciones de las fuentes ( $f_{ki}$ ) como de las contribuciones de éstas ( $g_{ik}$ ) deben ser incluidas.
- Un método que da solución a este problema es la técnica de factorización de matrices positivas (PMF).
- PMFv3.0 es un programa computacional que considera:
  - Restricciones de no-negatividad
  - Factores no ortogonales
  - Posibilidad de evaluar el efecto de variables débiles y fuertes
- Los factores a ingresar al modelo (PMF) son:
  - Concentraciones de las distintas especies.
  - Incertidumbres experimentales.
  - No es necesario inventarios de emisión ni datos meteorológicos.

# Contribución de fuentes al MP<sub>2.5</sub>

La contribución de fuentes se obtiene mediante la siguiente regresión lineal múltiple:

$$\begin{array}{l} \text{Concentración másica} \\ \text{observada } (\mu\text{g}/\text{m}^3) \end{array} \longrightarrow M_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k \cdot g_{ik} + e_i$$

Concentración no explicada (intercepto)      Aportes de las fuentes

**Ecuación 6**

Los factores a ingresar al programa PMF son:

- Concentraciones de las distintas especies.
- Incertidumbres experimentales.
- No es necesario inventarios de emisión ni datos meteorológicos.

**EPA PMF v3.0.2.2**

File View Action Help

Input/Output Files | Analyze Input Data | Model Execution | Base Model Results | Bootstrap Model Results | Fpeak Model Results

**Input Files**

Model input data in tab-delimited (.txt), comma-separated value (.csv), or Excel workbook (.xls) format. Species names in first row, units in second row (optional), and date/times in first column (optional).

Concentration Data File: C:\Archivos de programa\EPA PMF 3.0\Data\balt.xls

~~Concentration data table with parameter names in the first row. Optionally, the second row may contain units and the first column may contain date/time.~~

Uncertainty Data File: C:\Archivos de programa\EPA PMF 3.0\Data\balt.xls

Observation-based or equation-based uncertainty values for each sample. Must match concentration data format.

Missing Value Indicator: -999 ☒ Exclude Entire Sample ☐ Replace Missing Values with Species Median

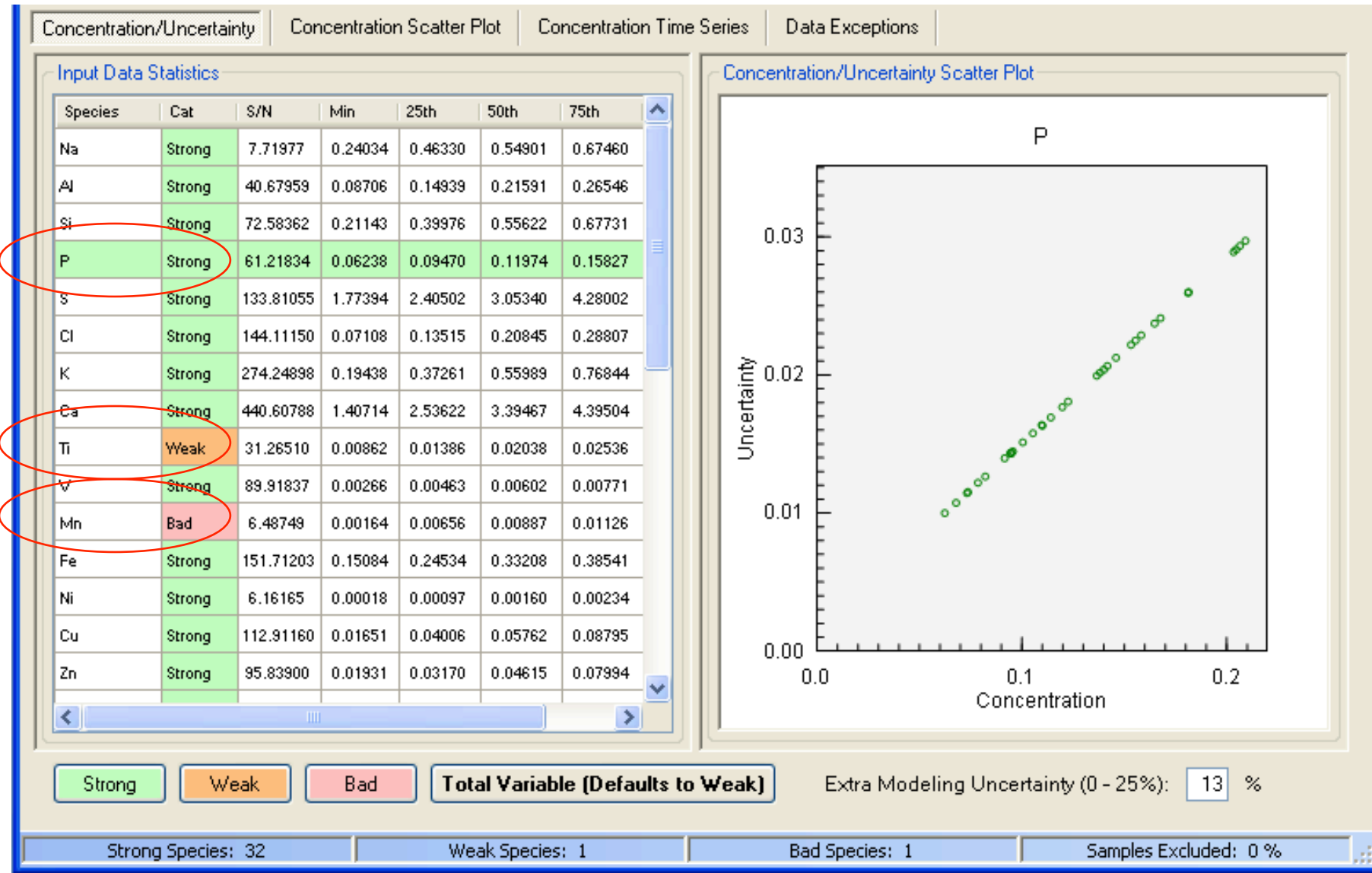
**Output Files**

Output Folder: C:\Documents and Settings\Rodrigo\Escritorio

Specify a destination folder for all model run output files.

Output File Type: ☒ Tab-Delimited Text (\*.txt) ☐ Comma-Delimited Text (\*.csv) ☐ Excel Workbook (\*.xls)

- Posibilidad de evaluar el efecto de variables débiles y fuerte.



# Concentración Indoor/Outdoor de MP<sub>2.5</sub> en el mundo

**Table 2** Comparison of indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> concentrations and the I/O ratio determined in this study and previous studies

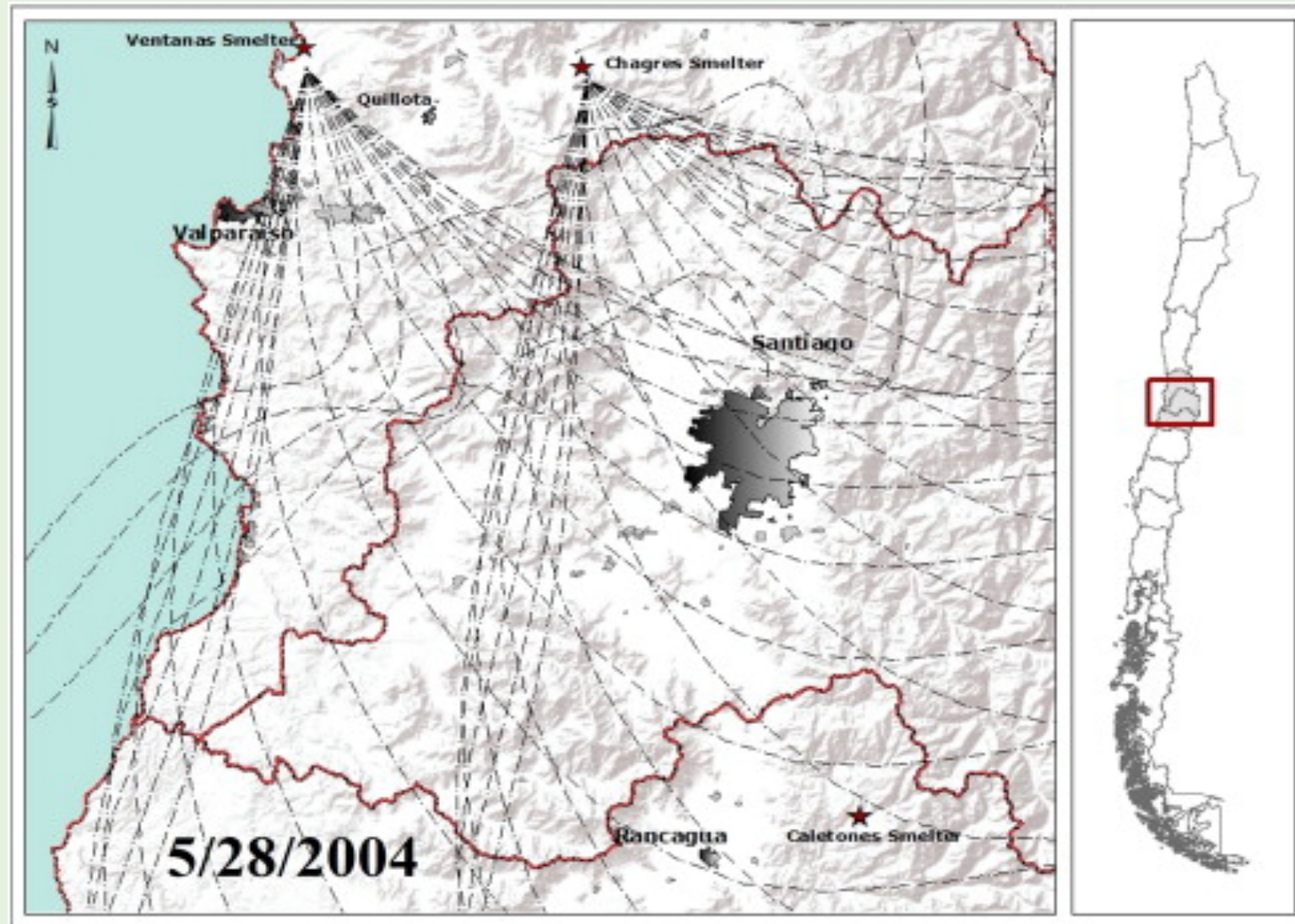
Location	Site characteristics	PM <sub>2.5</sub> concentration (μg/m <sup>3</sup> )			Smoking	References
		Indoor	Outdoor	I/O		
Tampa, Florida, USA	Residential, homes	9.3 ± 4.8 <sup>a</sup>	11.3 ± 3.9	—	N	Olson et al., 2008
Seattle, Washington, USA	Residential, homes	10.25 (25.9–65.34) <sup>b</sup>	12.69 (2.02–43.0)	—	N	Larson et al., 2004
Coachella Valley, California, USA	Residential, homes	15.45 (4.21–49.30)	15.02 (3.66–34.43)	1.03 ± 0.29	N	Geller et al., 2002
Erfurt, Germany	Urban, hospitals	6.9 <sup>c</sup>	9.2	0.79 <sup>d</sup>	N	Cyrys et al., 2004
Antwerp, Belgium	Residential, homes	36 (10.9–105)	36 (9.3–92.7)	1.5 <sup>d</sup>	Y	Stranger et al., 2009
Chongju, Korea	Commercial-residential, school	25.3 ± 9.09	26.3 ± 12.9	0.96 <sup>d</sup>	N	Lee et al., 1997
PolyU, A-core, Hong Kong	Commercial, offices	45.2 ± 12.4	91.4 ± 32.7	0.5 ± 0.1	N	Ho et al., 2004
Singapore	Child care centres (naturally ventilated)	64.1 <sup>c</sup>	62.5	1.0 <sup>d</sup>	N	Zuraimi and Tham, 2008
Guangzhou (RS2), China	Roadside, home	Summer 71.1 ± 5.2 <sup>a</sup>	88.6 ± 8.5	—	Y	Huang et al., 2007
		Winter 212.4 ± 48.3 <sup>a</sup>	216.0 ± 48.1	—	Y	
Guangzhou, China	Roadside, hospitals	99.06 (40.94–214.91)	97.86 (51.72–187.13)	1.01 <sup>d</sup>	N	Wang et al., 2006
Agra, India	Urban roadside, homes	137.93 (79.46–198.66)	202.95 (122.69–293.36)	0.98 <sup>d</sup>	Y	Massey et al., 2009

Tabla obtenida de Lim *et al* (2010)

# Trazadores Usados

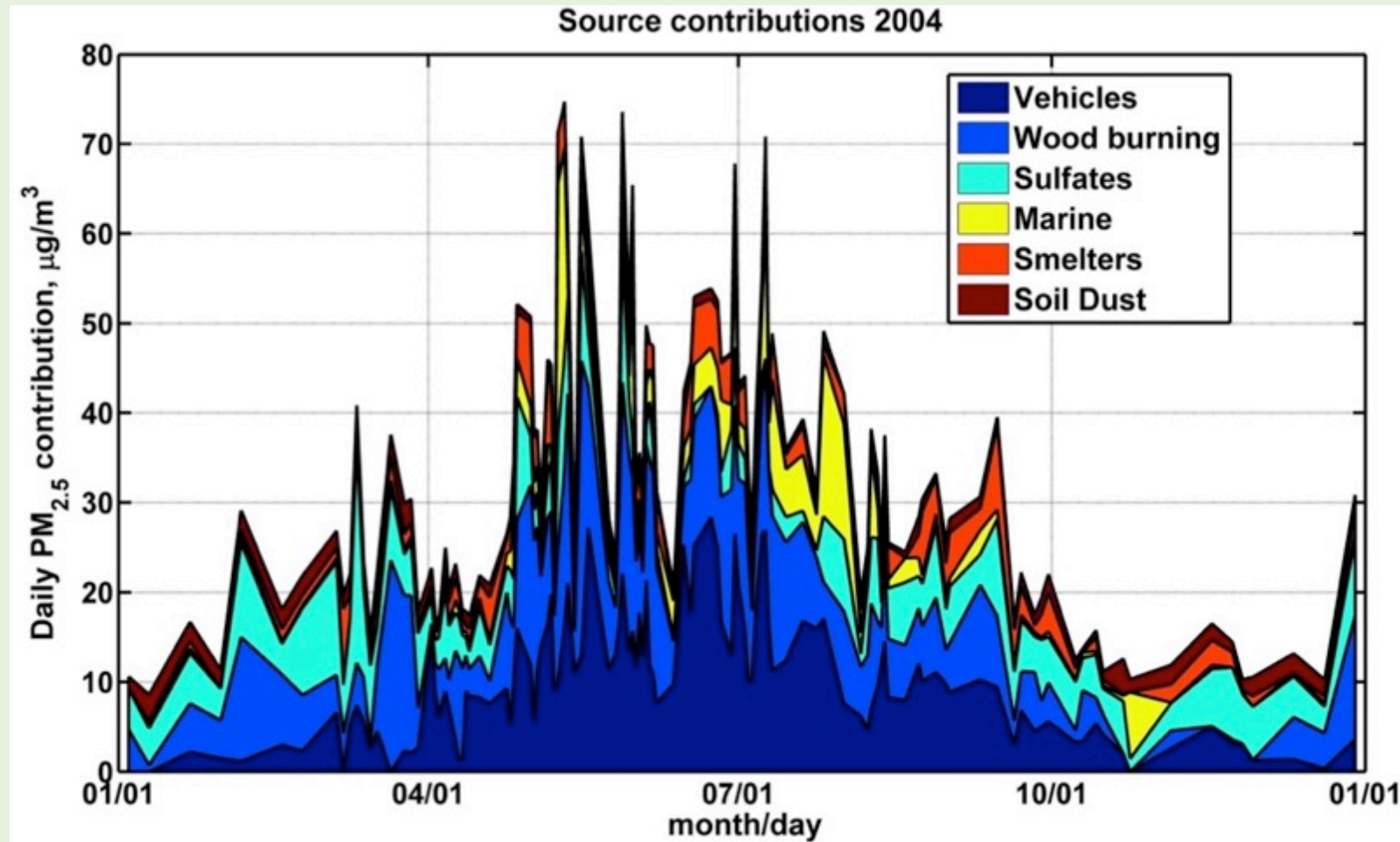
Fuente	Trazadores químicos	Comentarios
Vehículos	Pb, Ba, Mn, Cr, Zn, CE, CO	Estacionalidad en invierno y disminución el fin de semana
Quema de leña	K, K/Fe, CO	Estacionalidad en invierno y disminución el fin de semana, MODIS en verano
Sulfatos secundarios	S, S/P	Trayectorias de viento: Caletones, Ventanas, Chagres
Aerosol Marino	Cl, CO	Trayectorias de viento
Fundiciones de Cobre	As, S/As	Trayectorias de viento: Caletones, Ventanas, Chagres
Polvo	Si, Ca, Ti, K/Fe, Si/Ca	

# Trayectorias de vientos HYSPLIT



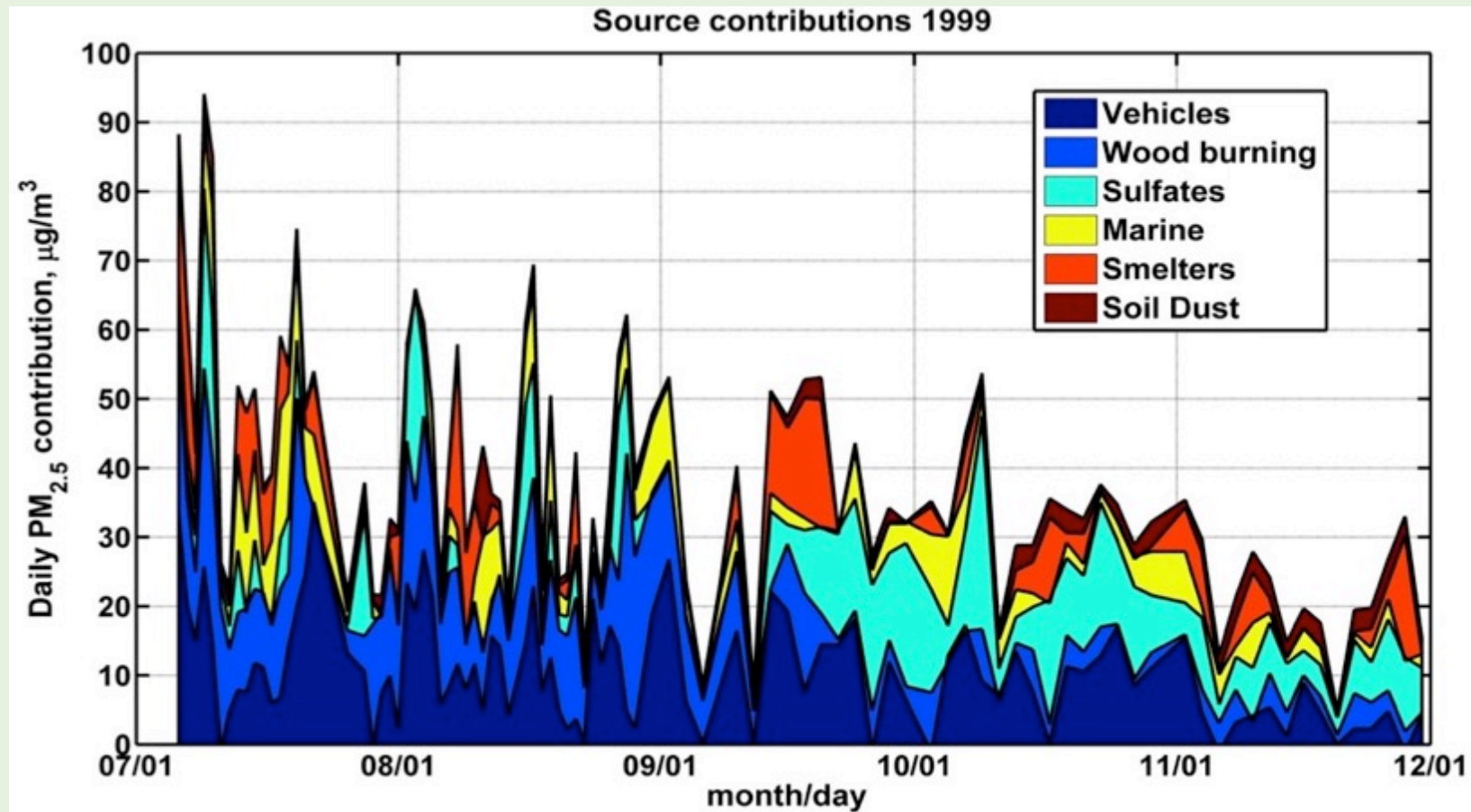
Forward trajectories starting a Chagres and Ventanas smelters on May 28<sup>th</sup> 2004

# Estacionalidad Campaña 2004



Timeline plot of estimated, ambient PM<sub>2.5</sub> source contributions, 2004 campaign.

# Estacionalidad Campaña 1999



*Timeline plot of estimated, ambient  $PM_{2.5}$  source contributions, 1999 campaign.*

	Rojas; Centro, Enero- Febrero 1987	Artaxo; Centro, Julio- Agosto 1996	Artaxo; Centro, Julio- Agosto, 1998	Artaxo: Centro, Junio- Diciembre, 1999	Artaxo; Este, Junio- Diciembre, 1999	Moreno, 1998-2007; Abril- Agosto, centro	1999	2004
Sulfatos	49					13.6	19	16
Sulfatos + As				39	15			
Sulfatos + fundiciones de Cobre			9.7					
Fundiciones de Cobre		8.7					11	10
Sulfatos + industria		64						
Combustión de petróleo + industria			23.2					
Combustión petróleo	13	1.9				13.6		
Motor de vehículos + Industria					70			
Motor de vehículos		16	35.8	40		12.3	28	31
Quema de Leña							25	29
Quema de Leña y trafico	26							
Polvo de calle + Quema de leña	5.6							
Polvo de Calle		15.5	31.3	17	7	24.6	4	4
Polvo de calle + trabajos en metal	6.4							
Trabajos en Metal				4				
Aerosol Marino							13	10

# Del problema de FA a solución de PMF

Factor analysis (FA) techniques are multivariate data analysis methods

The most common form of FA is Principal Components Analysis (PCA).

PCA extracts the principal components explaining the majority of the variance in the data matrix that is then qualitatively interpreted as possible sources.

it suffers from several drawbacks in general:

- The factors of PCA are rarely physically explainable without further transformation (rotation), and no fully satisfactory rotation techniques have yet been found.
- In addition, PCA really represents a least-squares (LS) minimization. This fit is weighted by implicitly assuming unrealistic standard deviations for the variables in the data matrix. T

A new approach to FA called Positive Matrix Factorization (PMF) has been developed by Paatero and Tapper and to address the above-mentioned problems. Paatero and Tapper have developed this new algorithm for fitting two-way bilinear models under *nonnegativity constraints using a weighted loss function (PMF)*. The model and algorithm have been called Positive Matrix Factorization (PMF)

# Del problema de FA a solución de PMF

$$Q(\mathbf{E}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{e_{ij}}{s_{ij}} \right]^2$$

The factor analysis problem is then to minimize  $Q(\mathbf{E})$  with respect to  $\mathbf{G}$  and  $\mathbf{F}$  with the constraint that each of the elements of  $\mathbf{G}$  and  $\mathbf{F}$  is to be non-negative.

- No fully satisfactory rotation techniques have yet been found.
- In addition, FA really represents a least-squares (LS) minimization. This fit is weighted by implicitly assuming unrealistic standard deviations for the variables in the data matrix.