

An aerial photograph of the São Paulo city skyline, showing a dense cluster of high-rise buildings. A semi-transparent blue rectangular box is overlaid on the upper portion of the image, containing the text 'GF 3022' and 'Aerosoles...desde las ciudades brumosas al cambio climático'.

GF 3022

Aerosoles...desde las ciudades
brumosas al cambio climático

São Paulo

Contenidos

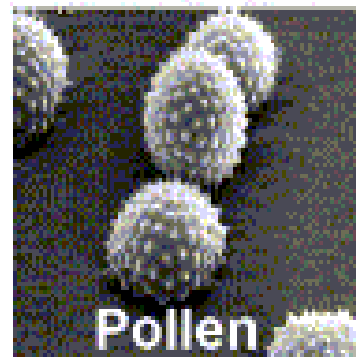
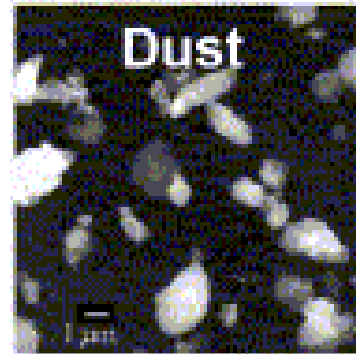
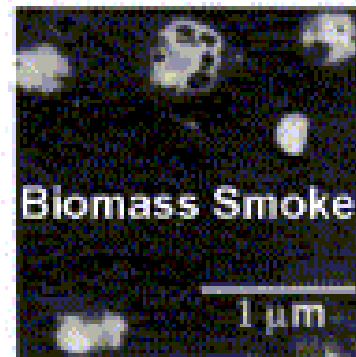
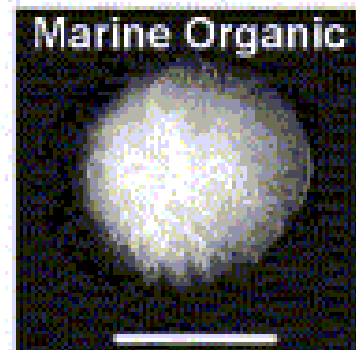
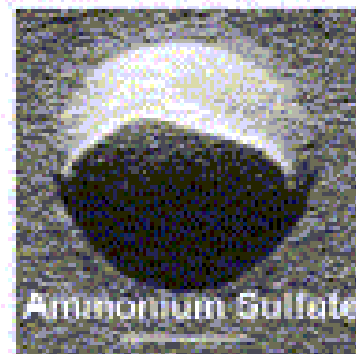
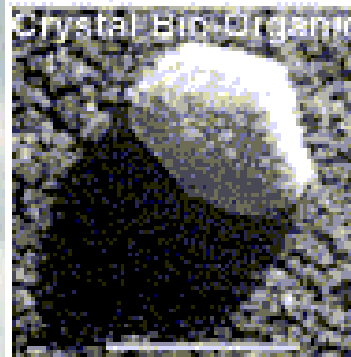
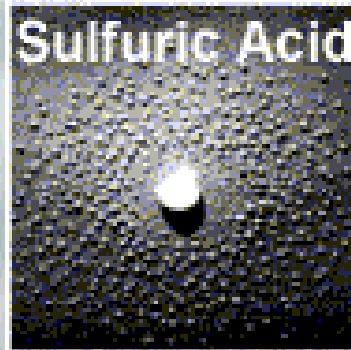
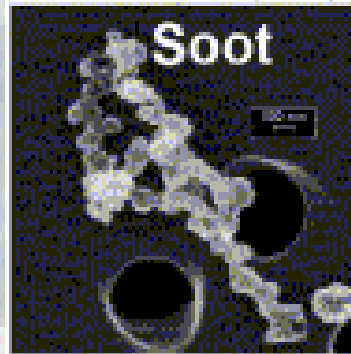
- Aerosoles y sus roles
- Fuentes, formas y tamaños
- Aerosoles y visibilidad
- Aerosoles y clima
- Aerosoles y salud
- Aerosoles en Santiago
- “Episodios”
 - Emisiones
 - Estabilidad atmosférica
 - Gestión de episodios (c/o Marcelo Corral)



Bogotá

Aerosol:

una
combinación de
material
en fase
condensada
presente
en la atmósfera
así como aquél
dentro del
material
suspendido
que la contiene



Los aerosoles y sus roles...

- Absorben, emiten y reflejan luz (“scattering”)

...afectan el balance radiativo del planeta

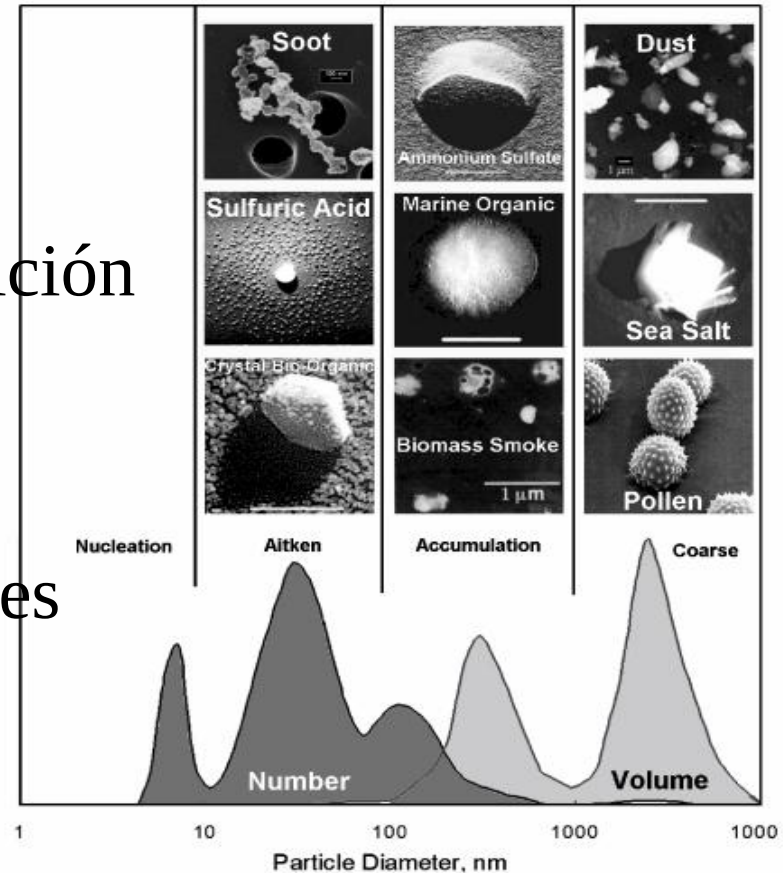
- Proveen superficies para la deposición de moléculas

...favorecen la condensación y formación de nubes

- Proveen superficies sobre las cuales ocurren reacciones químicas

...actúan como catalizadores de reacciones

Además, al ser respirables ($<10\mu\text{m}$), pueden provocar efectos sobre la salud.



Fuentes de aerosoles

- Erosión eólica
- Procesos industriales

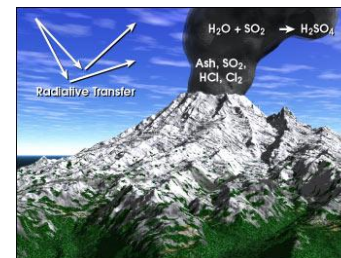


- Combustión



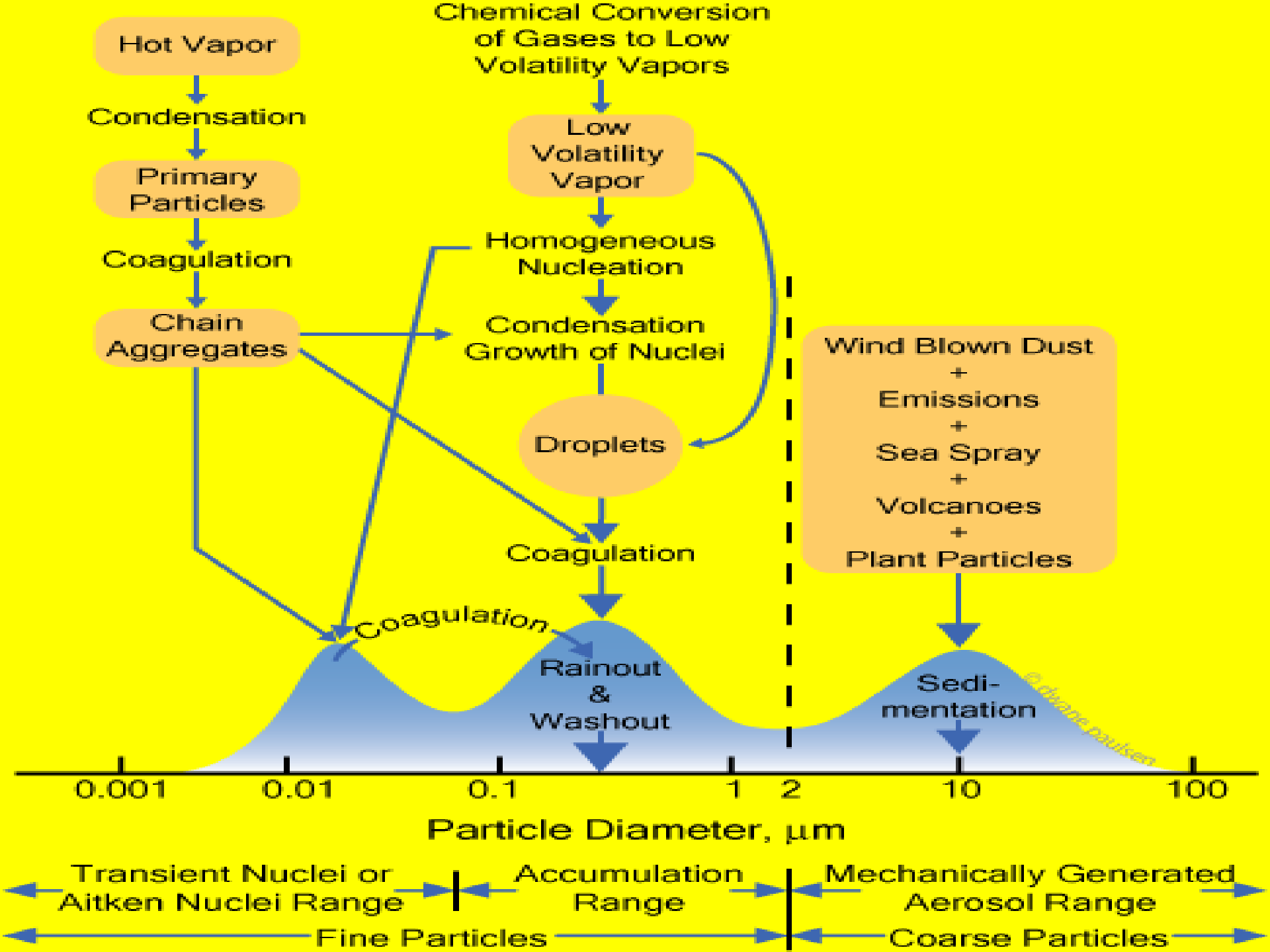
- Quema de biomasa

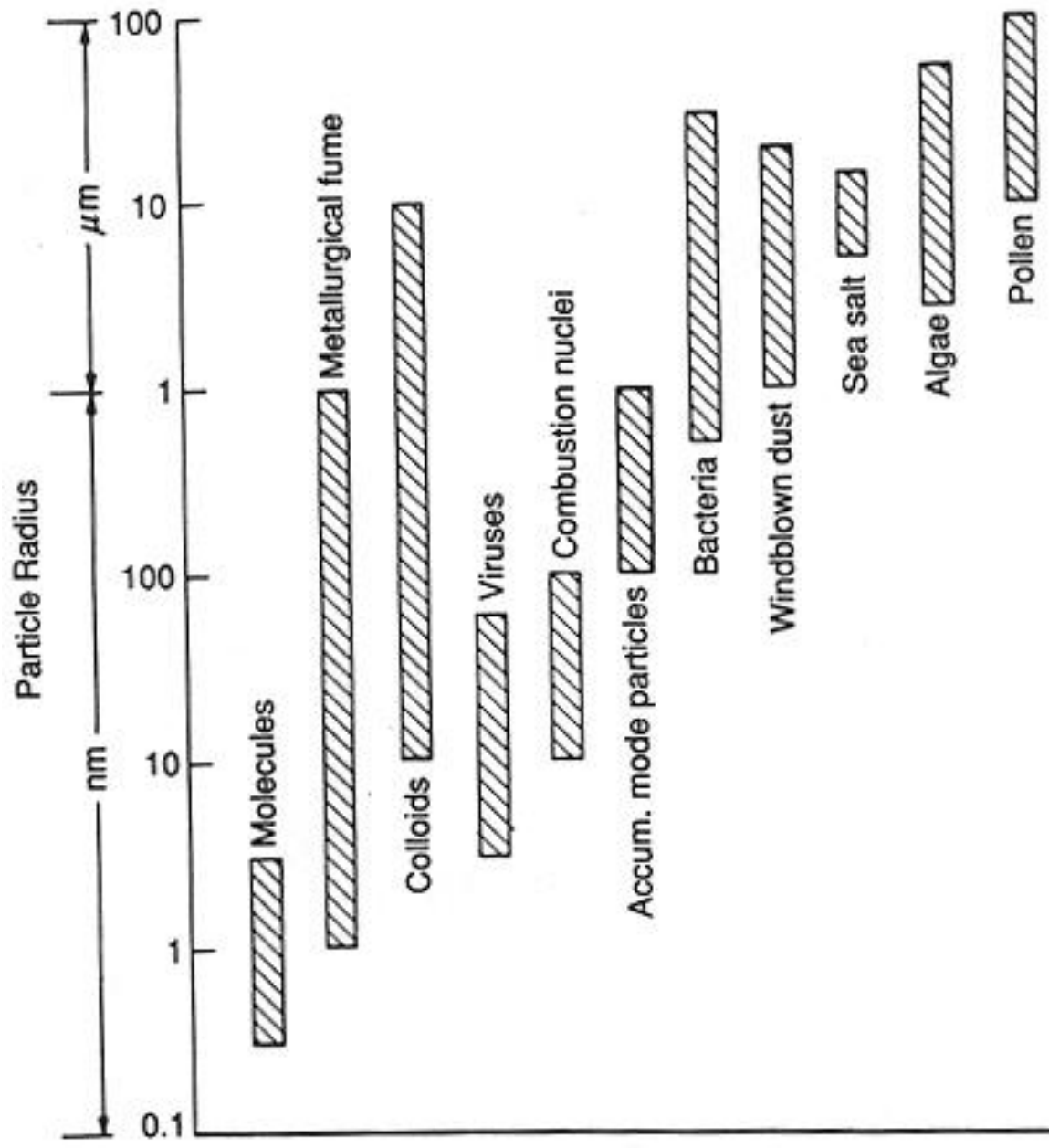
- Volcanes



- Conversión de gas a partícula

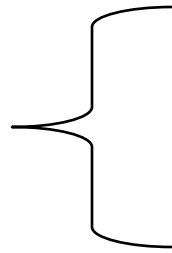






Clasificación por tamaños...

Finas (“fine”):
 $D < 2.5\mu\text{m}$

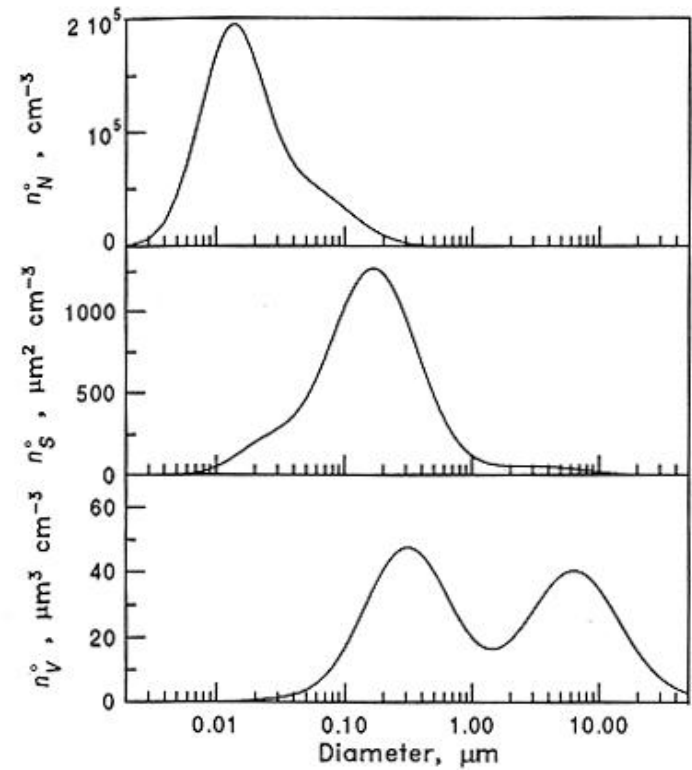


Aitken: $0.005 < D < 0.1\mu\text{m}$

Acumulación: $0.1 < D < 2.5\mu\text{m}$

Gruesas (“coarse”):
 $D > 2.5\mu\text{m}$

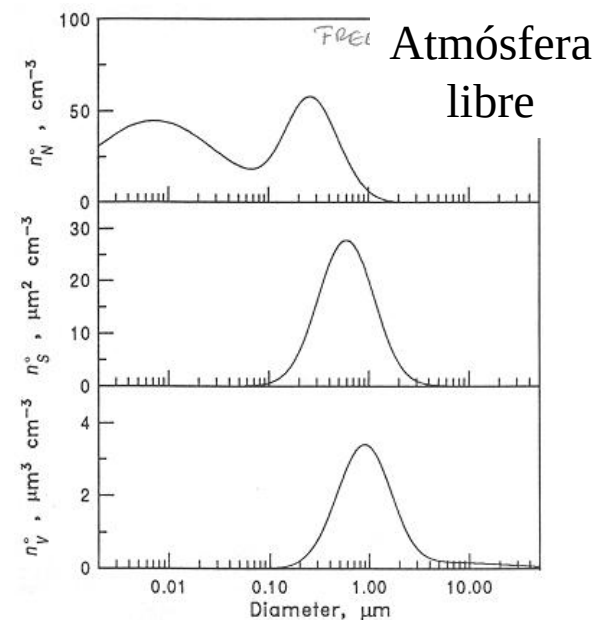
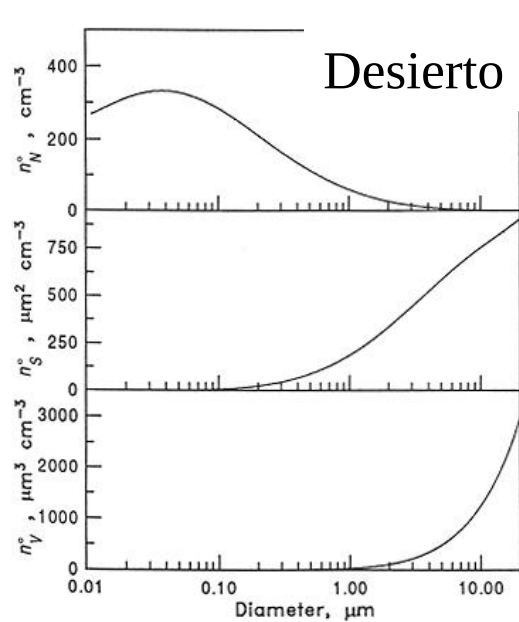
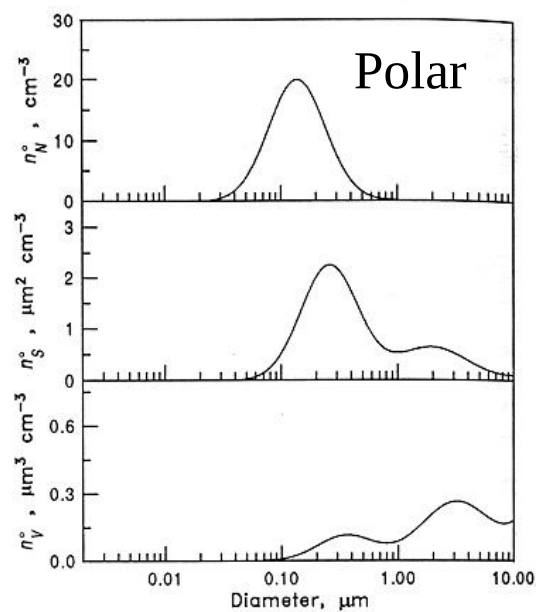
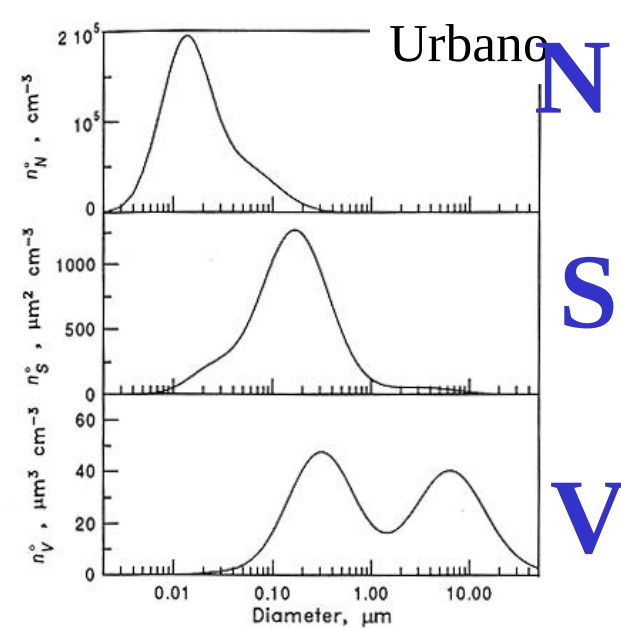
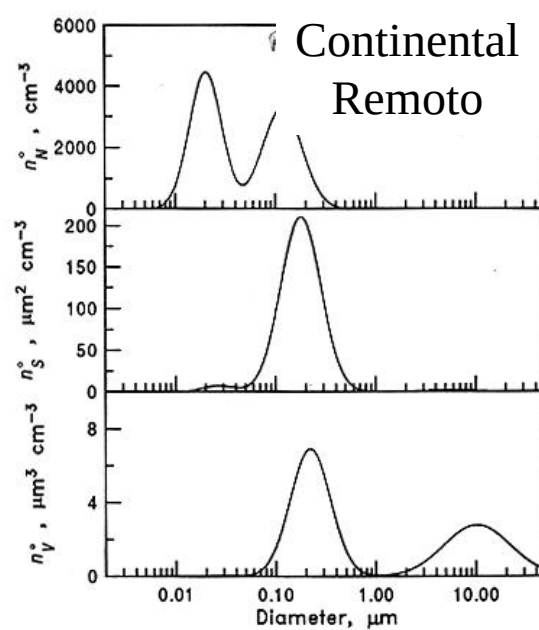
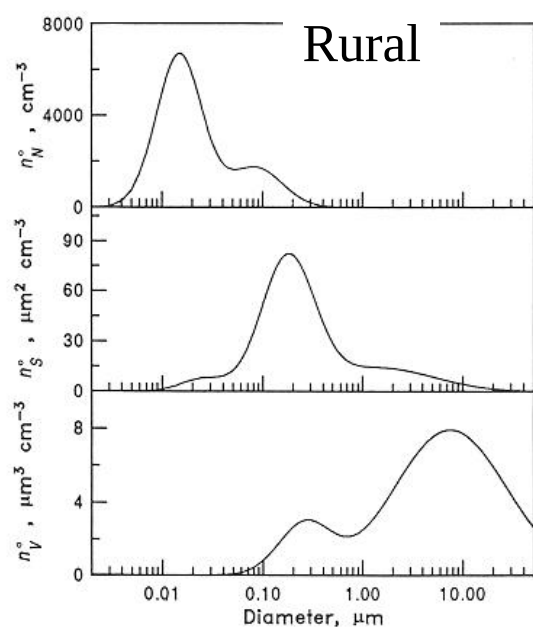
Urbano



N

S

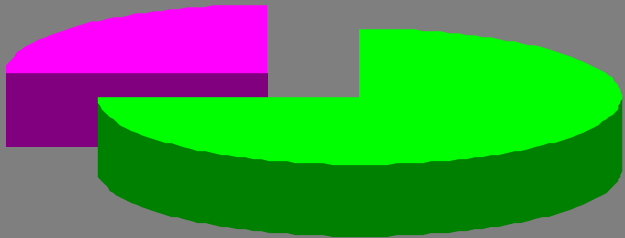
V



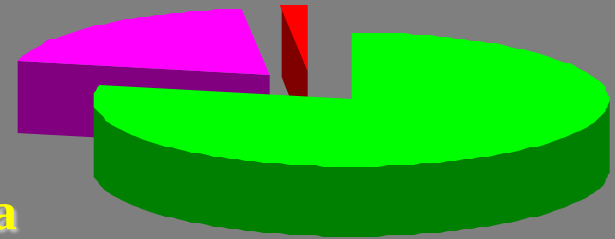
Fine particle composition



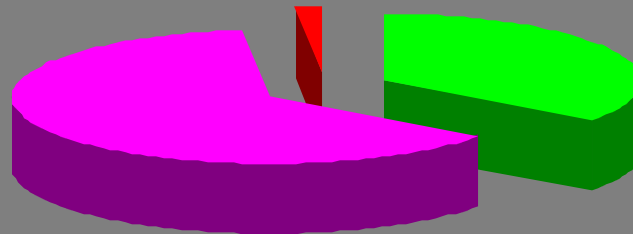
remote marine area
 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$



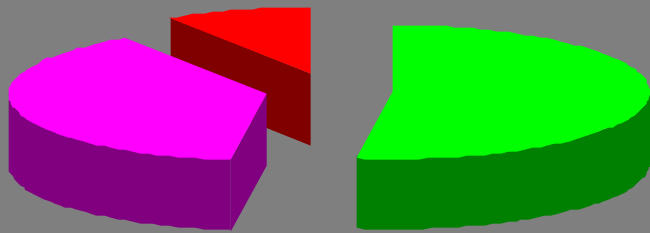
polluted marine area
 $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$



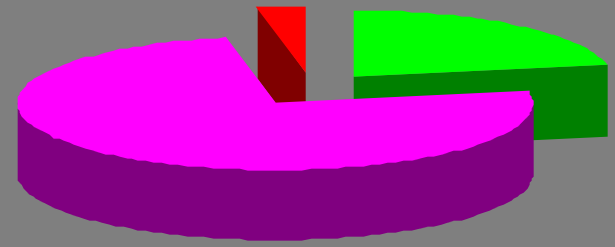
remote forested area
 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$



polluted continental area
 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$



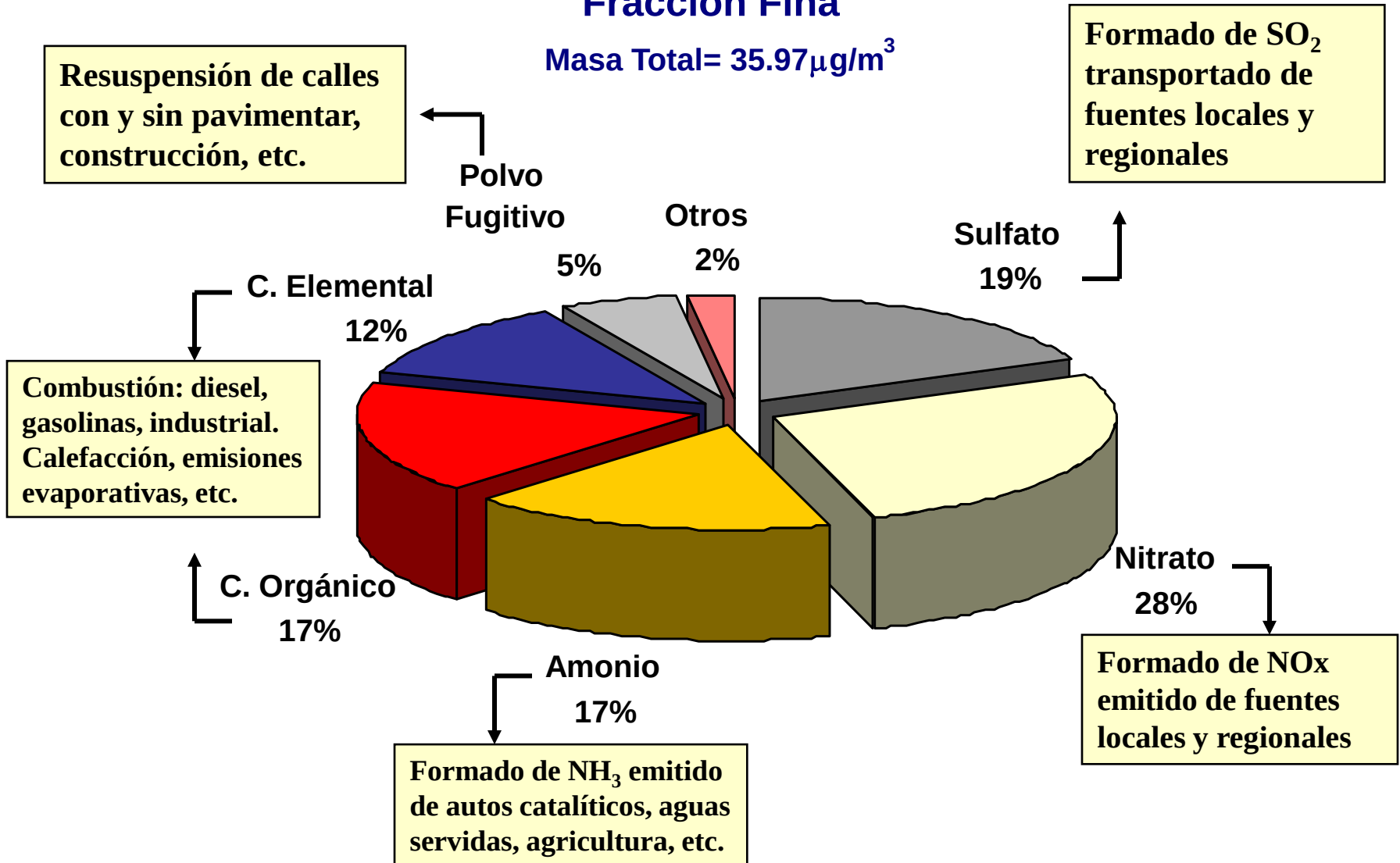
biomass burning area
 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$



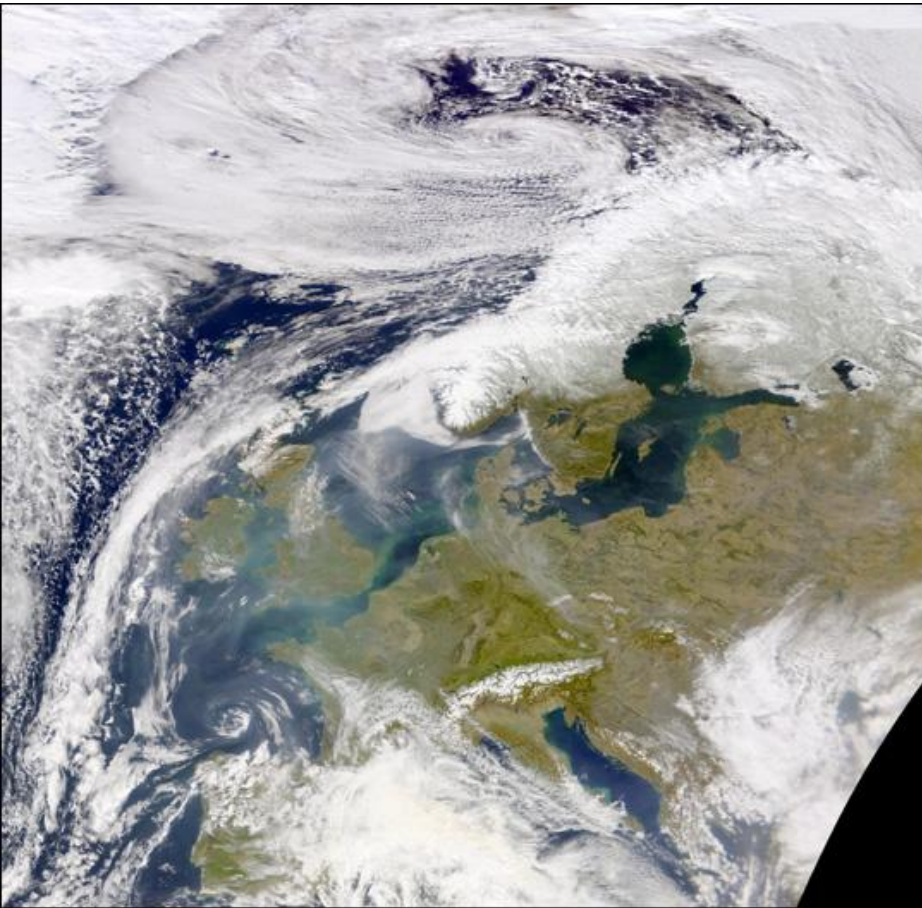
SANTIAGO 1998

Fracción Fina

Masa Total= $35.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Aerosoles y visibilidad

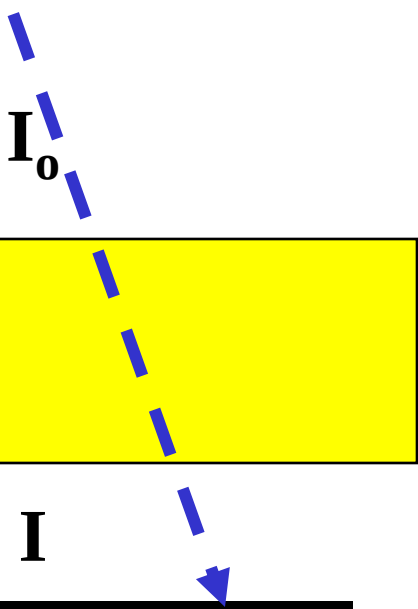
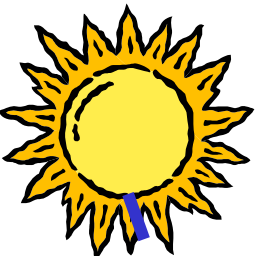


Europa



Denver, Co-EEUU





Optical depth

$$I = I_0 e^{-b_{\text{ext}} z} = I_0 e^{-\tau}$$

$$b_{\text{ext}} = b_{\text{scat}} + b_{\text{abs}}$$

$$b_{\text{abs}} = b_{\text{abs_gas}} + b_{\text{abs_part}}$$

$$b_{\text{scat}} = b_{\text{scat_gas}} + b_{\text{scat_part}}$$

Rayleigh scattering
(ca. $13.2 \times 10^{-6}/\text{m}$ para 520 nm)

$$b_{\text{scat_part}} \approx k[\text{aerosol}]$$

$$D \in [0.1 - 1.0 \mu\text{m}]$$

$$50 - 95\% \text{ de } b_{\text{ext}}$$

$$I = I_0 e^{-b_{\text{ext}} z} = I_0 e^{-\tau}$$

$$b_{\text{ext}} = b_{\text{scat}} + b_{\text{abs}} = b_{\text{scat_gas}} + b_{\text{abs_gas}} + b_{\text{abs_part}} + b_{\text{scat_part}}$$

$b_{\text{abs_part}}$ 5-10% remoto
 $b_{\text{abs_part5}}$ 50% urbano

Denver, Colorado 1981

Aerosoles finos (<2.5μm)	%b _{ext}
Sulfato de amonio (NH ₄) ₂ SO ₄	20.2
Nitrato de amonio NH ₄ NO ₃	17.2
Carbono orgánico	12.5
Carbono elemental ("scattering")	6.5
Carbono elemental (absorción)	31.2
Dióxido de nitrógeno NO₂	5.7
Otros	6.6
Total	100

$$I = I_0 e^{-b_{\text{ext}} z} = I_0 e^{-\tau}$$

$$b_{\text{ext}} = b_{\text{scat}} + b_{\text{abs}}$$



A satellite image of the eastern United States, showing the coastline and surrounding oceans. A large, light gray thought bubble with a black outline is positioned in the upper right quadrant. Inside the bubble, the words 'Sulfatos', 'Nitratos', and 'Carbono' are listed vertically in a black serif font. Three smaller, light gray circles with black outlines are arranged in a diagonal line from the bottom left towards the thought bubble, suggesting a thought process or flow of information.

Sulfatos
Nitratos
Carbono

Bruma (“Haze”) en el este de EEUU

A hazy Washington, DC

- Menos radiación de onda corta alcanza el suelo
- La atmósfera permanece más húmeda



Contraste

$$C_V(x) = e^{-b_{\text{ext}}x}$$

Un observador normal detecta nítidamente contrastes de no más de 2% ...de modo que para ese valor se puede estimar la distancia de visual:

$$C_V(x) = 0.02 \Rightarrow x_V = \frac{3.912}{b_{\text{ext}}}$$

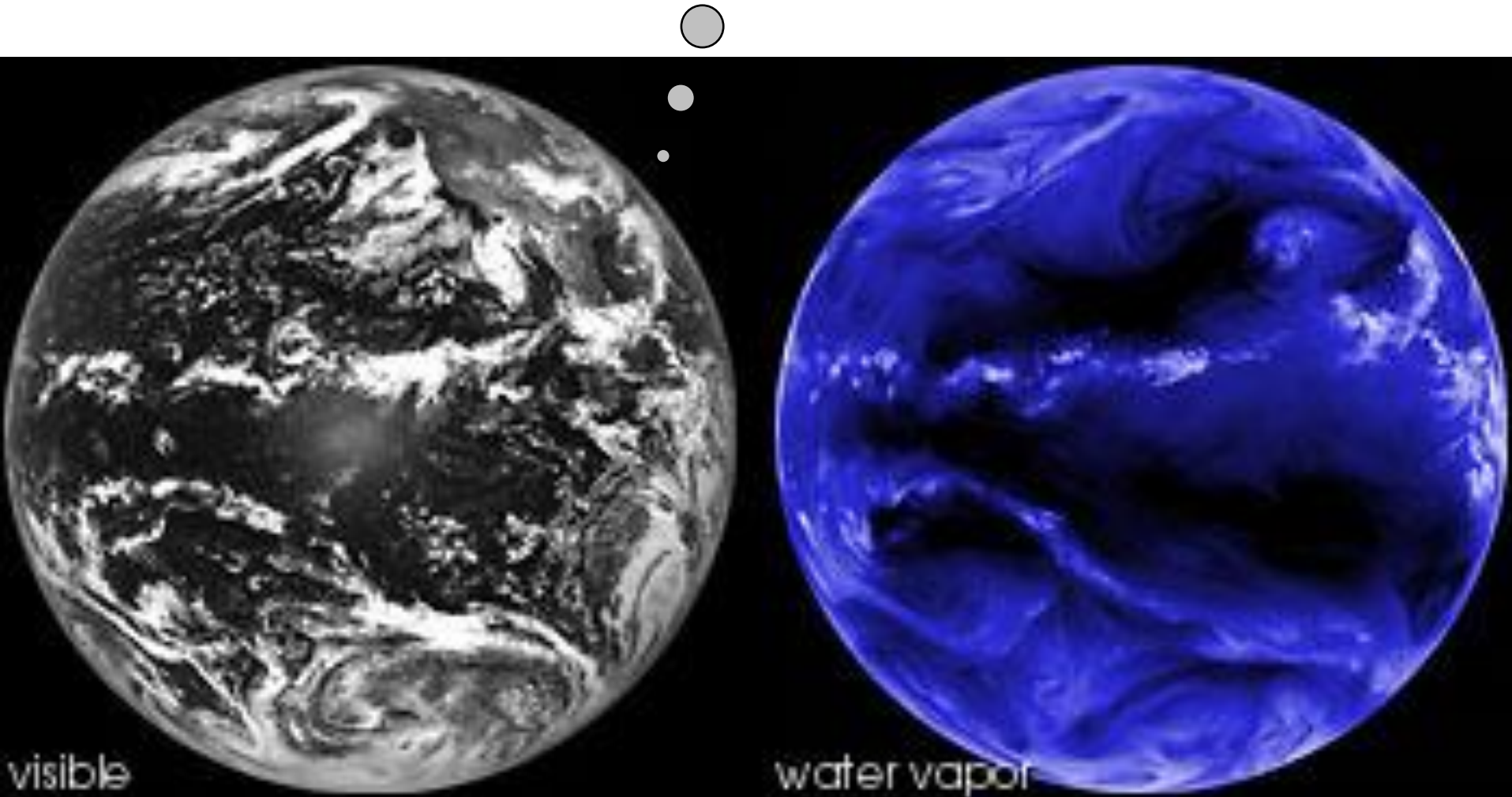
<20 km



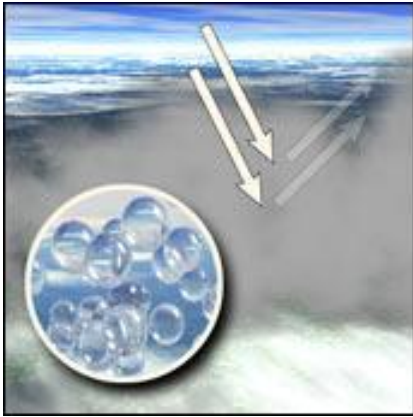
Existen los aerosoles, luego hay nubes



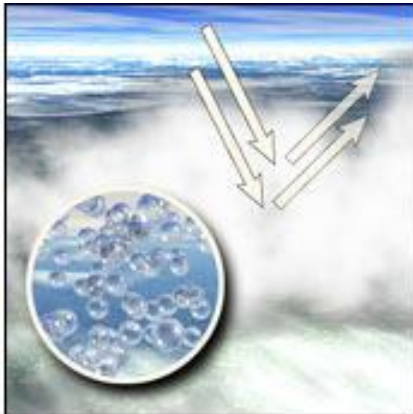
**No en todas partes que hay agua disponible
se forman nubes...se forman donde hay
aerosoles (higroscópicos/activables)**



Las propiedades radiativas de las nubes dependen de la disponibilidad de agua y del número de núcleos de condensación

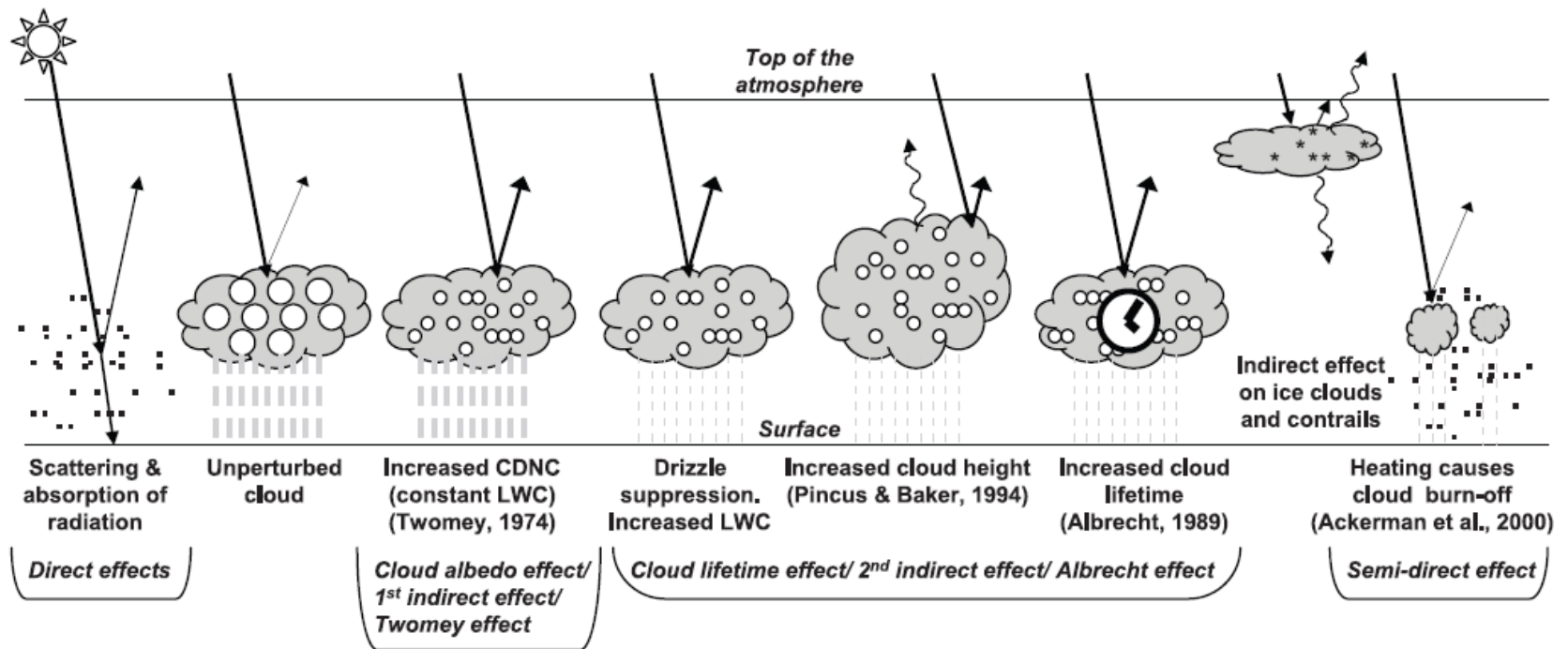


Pocas gotas grandes...nube más oscura y poco reflectora

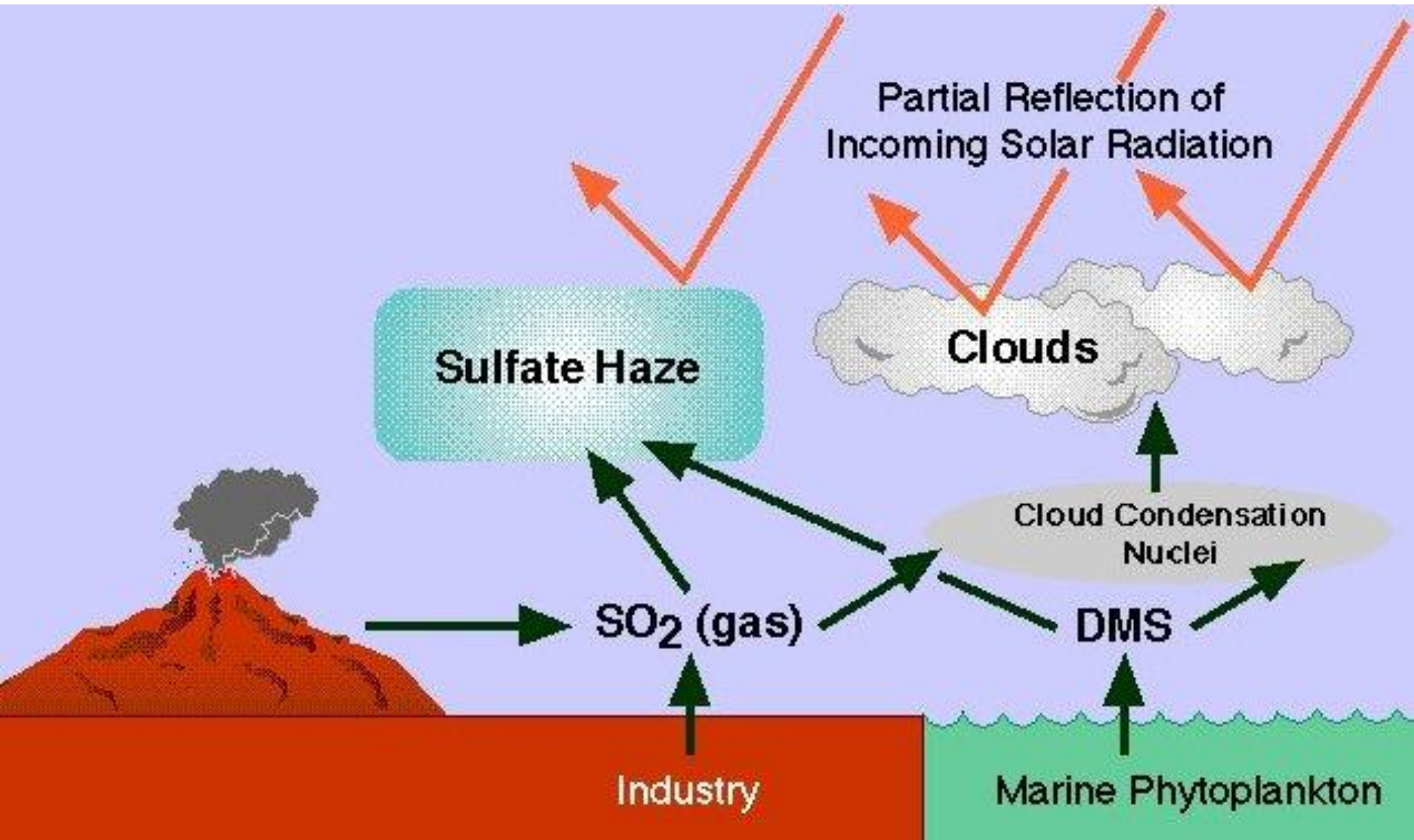


Muchas gotas pequeñas...nube más blanca y muy reflectora

Los aerosoles tienen múltiples efectos radiativos



Aerosoles sulfato: efectos **directo** e indirecto



“Ship tracks”...Norte América

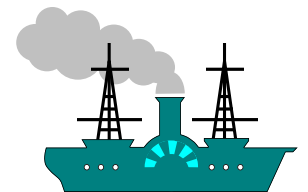
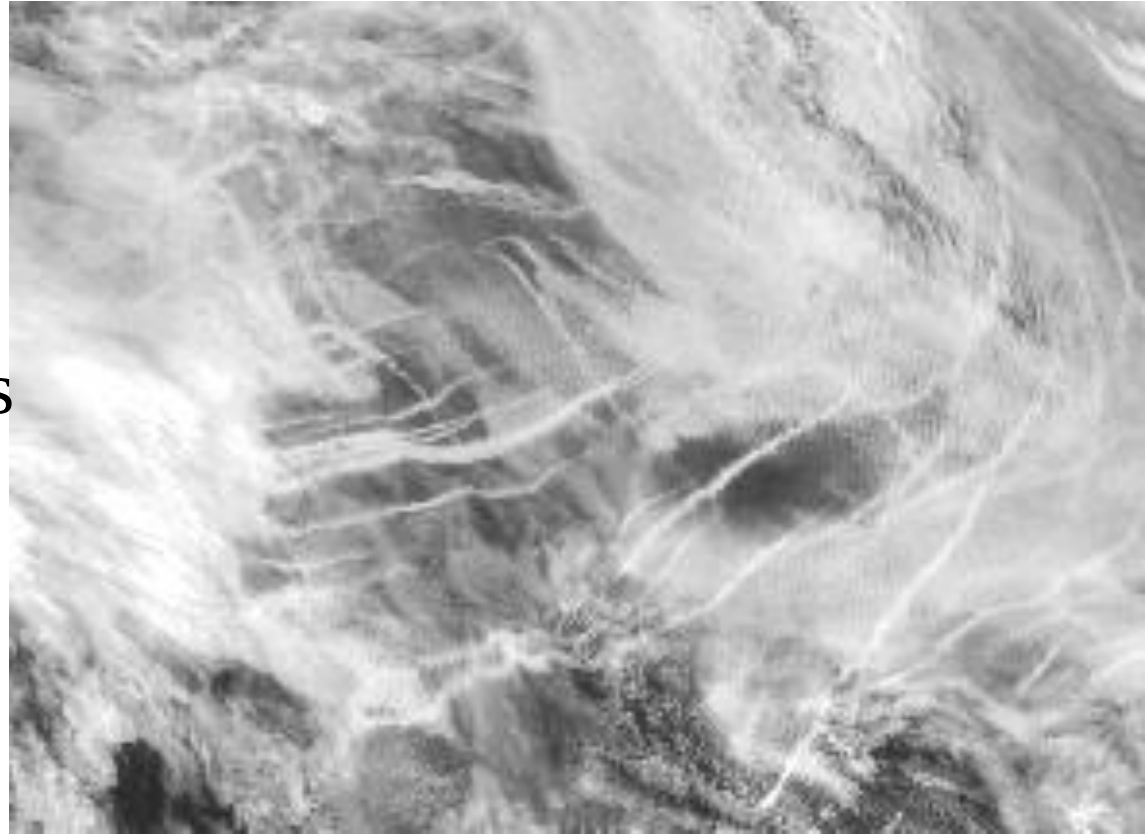
-0.16 Wm⁻² NH

-0.06 Wm⁻² SH

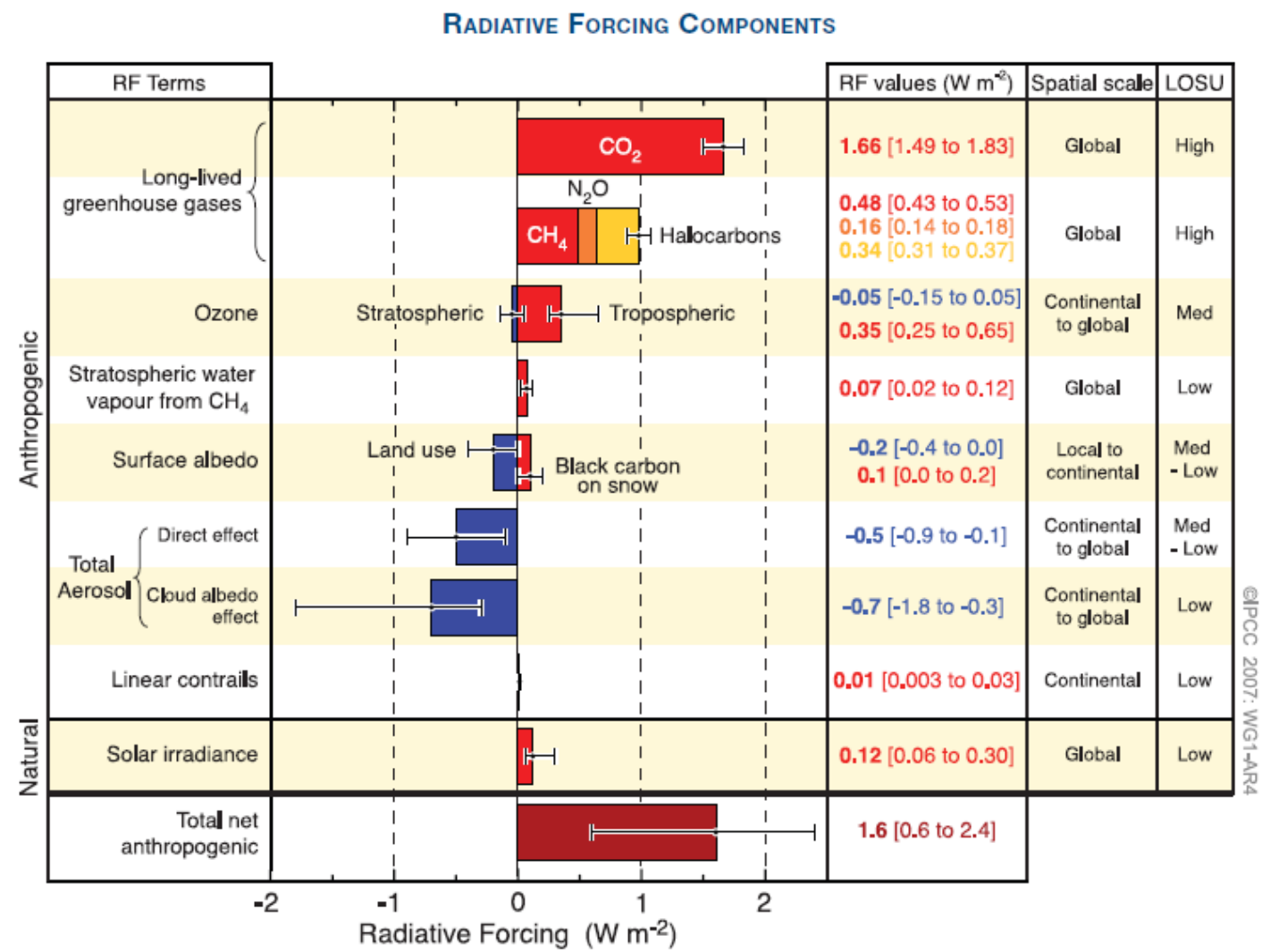
- El penacho del barco (rico en aerosoles) aumenta el número de CCN y su eficiencia (disminuye el radio de las gotas).

Ergo:

- Las nubes se tornan más reflectantes (aumenta el albedo)
- Aumenta la duración de las nubes (llueve menos)

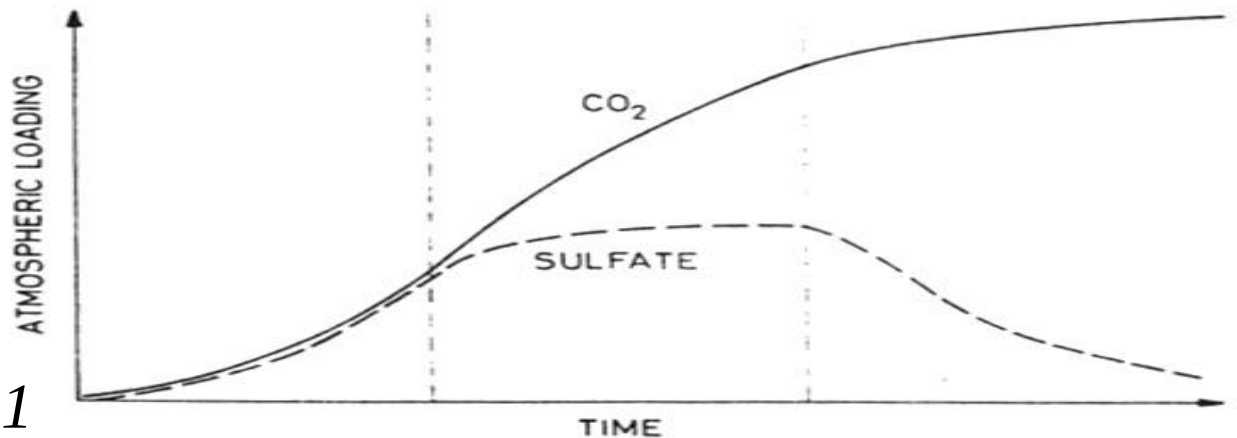
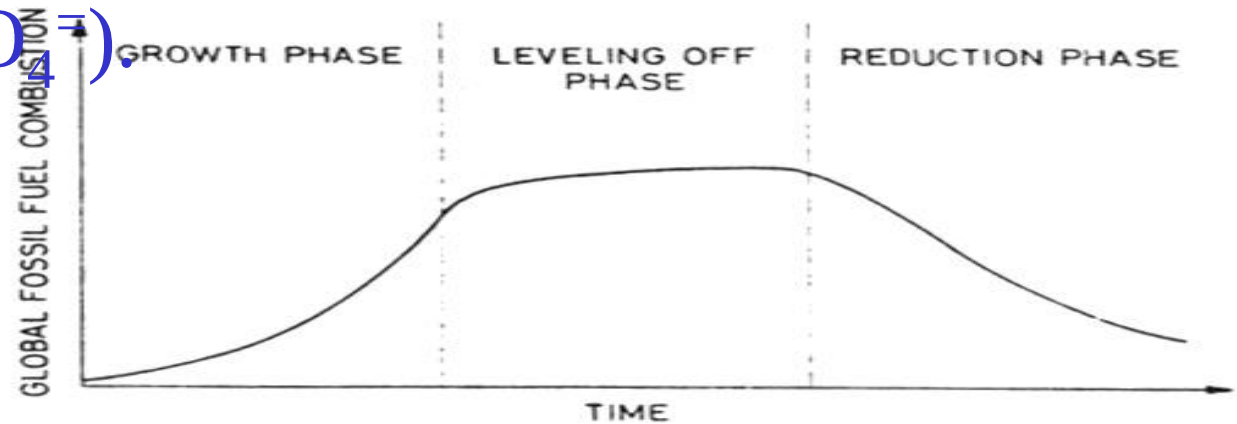


¿Puede calentamiento de los gases de invernadero (e.g., CO₂) compensar el efecto de, mayoritariamente, enfriamiento de los aerosoles (e.g., SO₄⁼)?



El efecto de calentamiento de los gases de invernadero (e.g., CO_2) es comparable pero **no** compensa el efecto de, mayoritariamente, enfriamiento de los aerosoles (e.g., SO_4^{2-}).

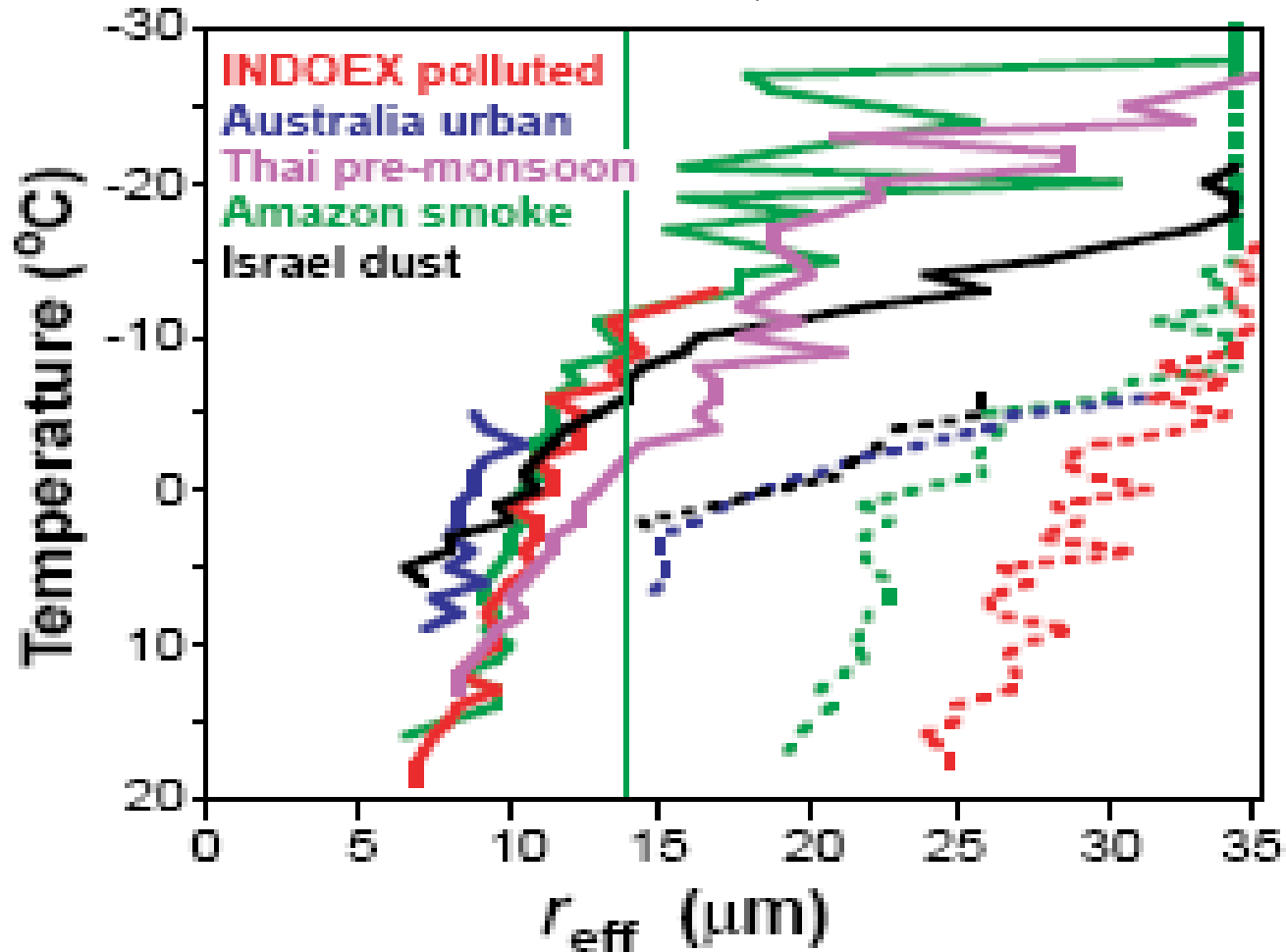
$$\tau_{\text{CO}_2} \gg \tau_{\text{SO}_4^{2-}}$$



Charlson et al, 1991

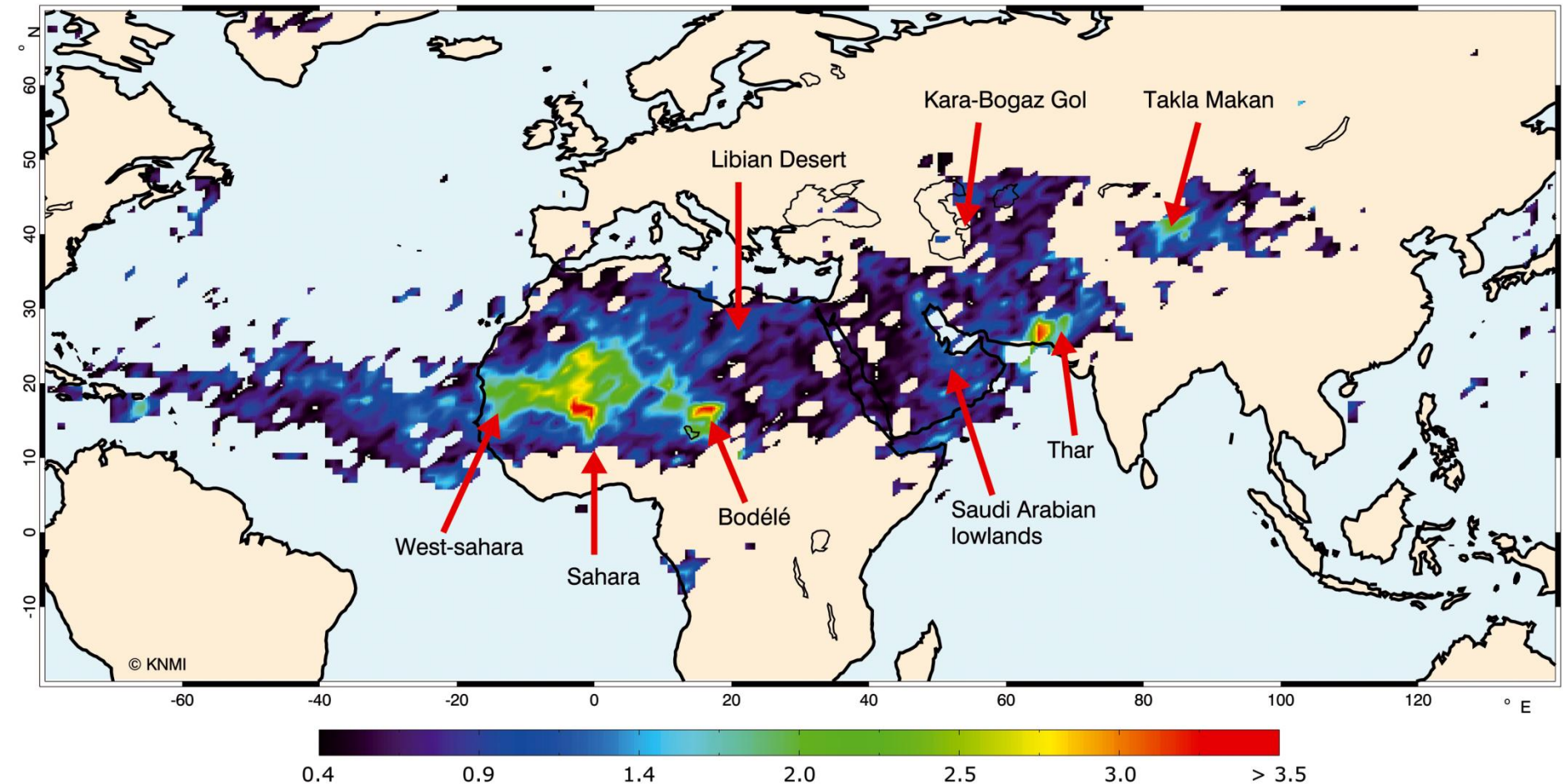
Aerosol effects on precipitation

Ramanathan et al, 2001



No sólo aerosoles reflectantes

SCIAMACHY Absorbing Aerosol Index (01-20 June 2004): The Global Dust Belt



Un problema humano

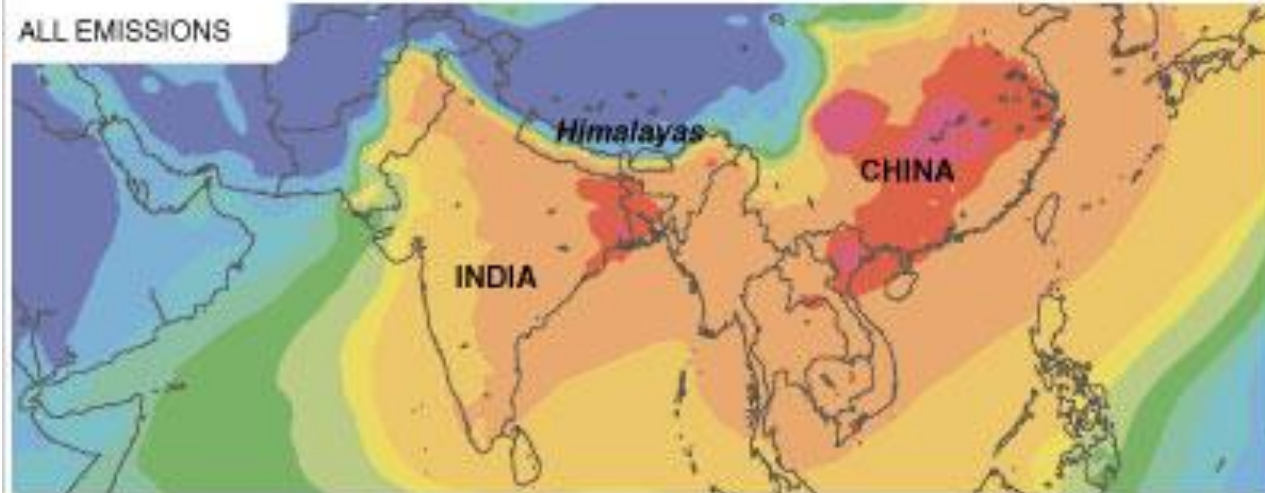


Amount of black carbon in the atmosphere
Includes emissions from burning fossil fuels or cooking with wood, dung or crop residues.

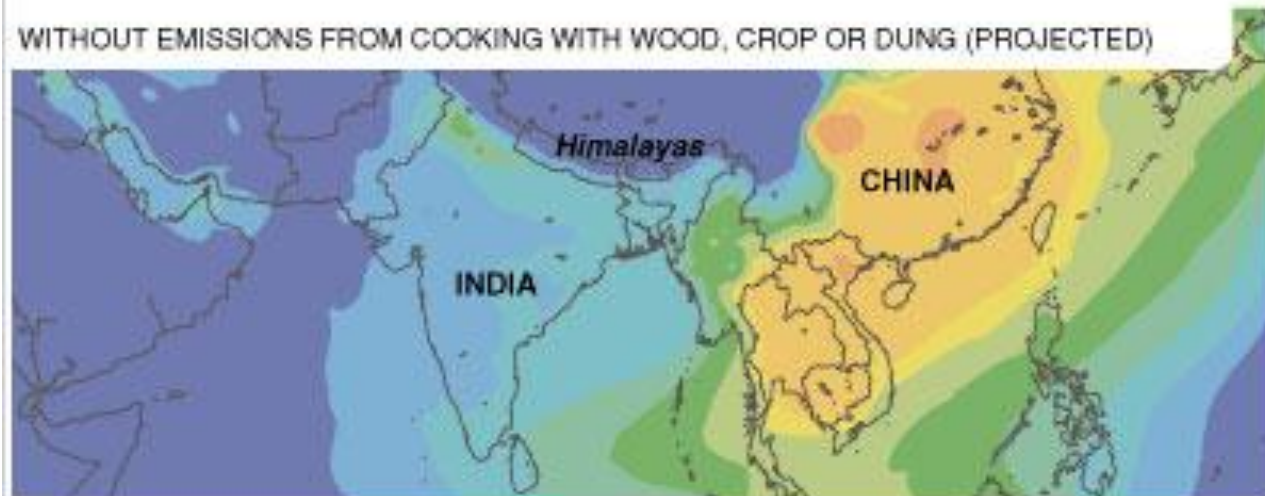
Less

More

ALL EMISSIONS

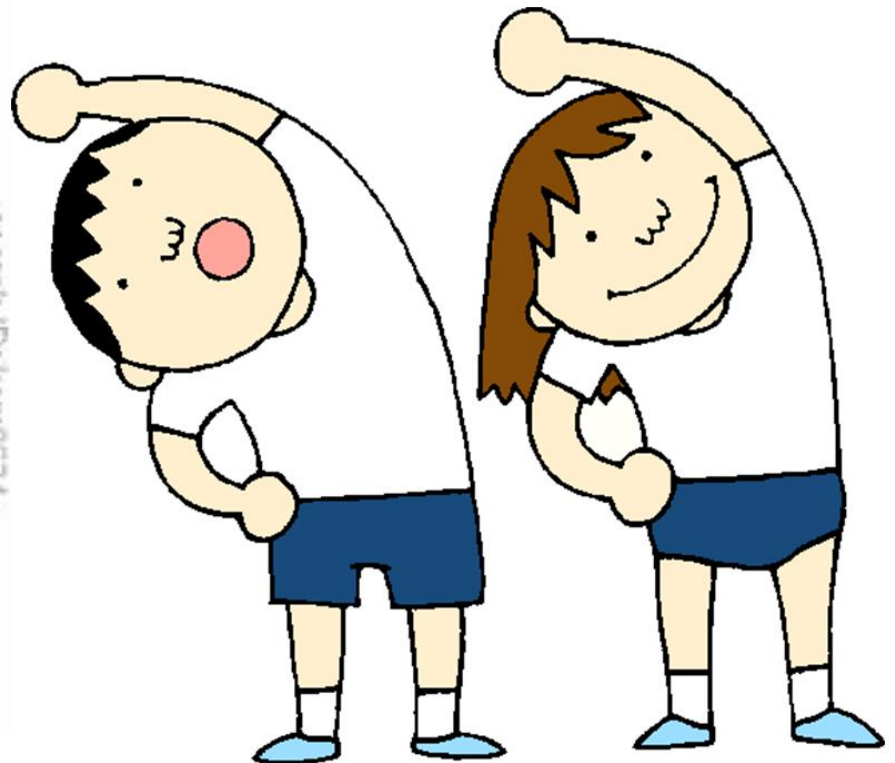


WITHOUT EMISSIONS FROM COOKING WITH WOOD, CROP OR DUNG (PROJECTED)



Source: V. Ramanathan and G. Carmichael, *Nature Geoscience*

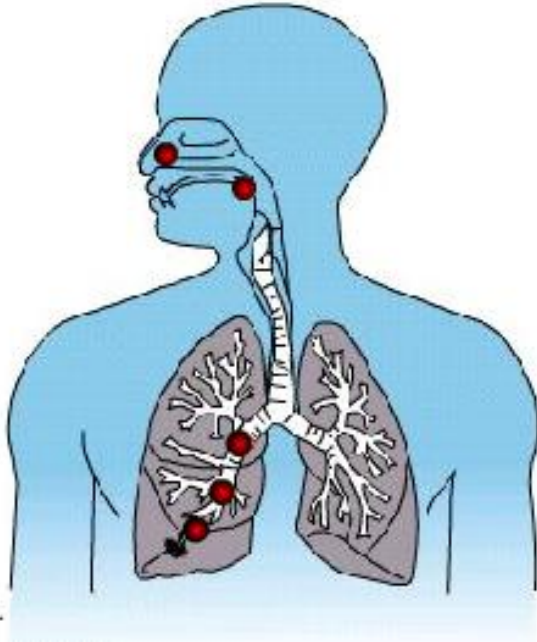
Pausa (10 minutos)



¡Esto NO es bueno para la salud!



Impactos sobre la salud



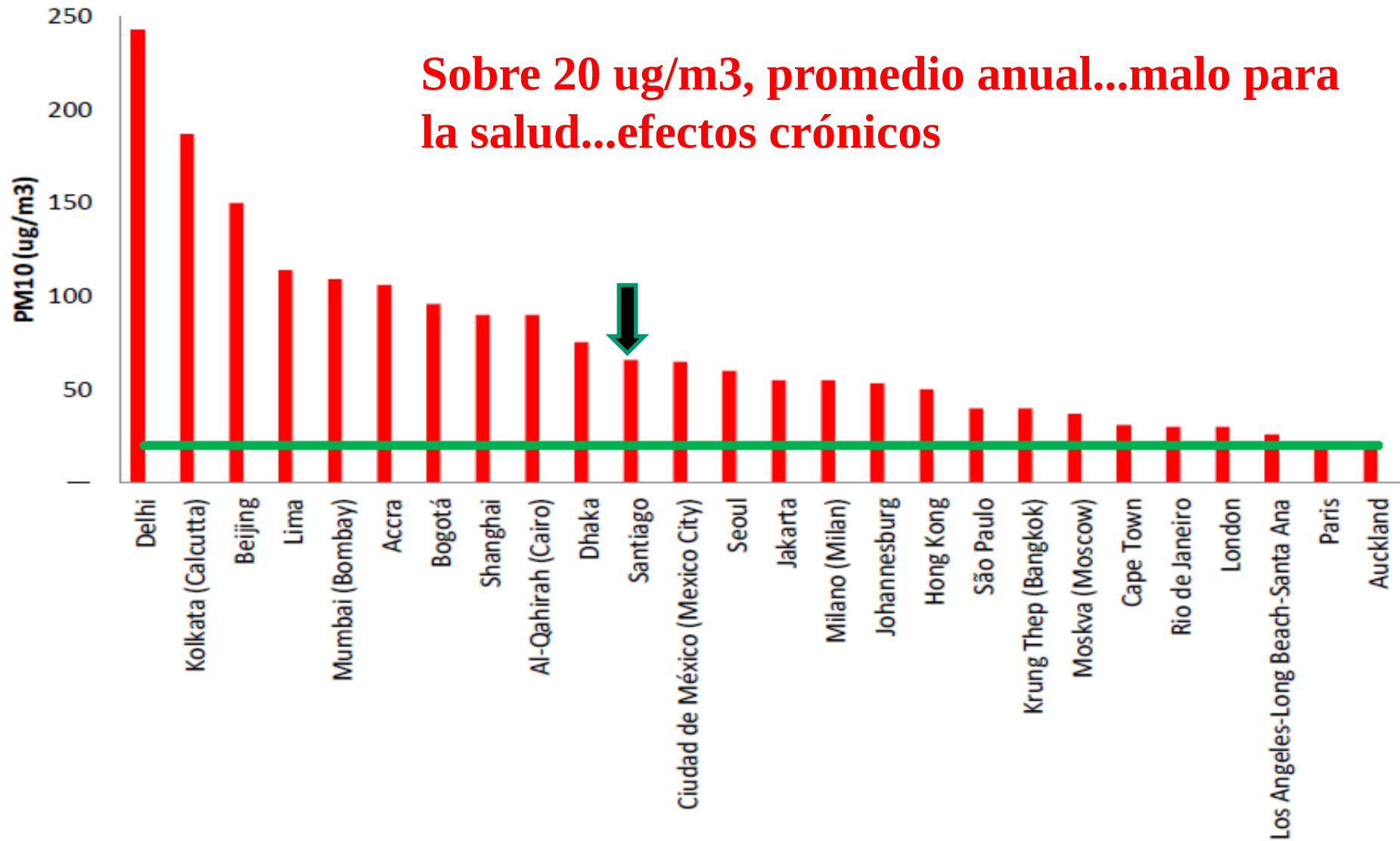
The effect of aerosol size on the area of preferential deposition within the airway

Aerosol Size	Work Region
> 10 μm	Nasopharyngeal or oropharyngeal regions, e.g., nasal spray for perennial rhinitis, such as corticosteroid
5 to 10 μm	Central airway, e.g., mucokinetic drugs
2 to 5 μm	Oropharynx and large airways to the overall lower respiratory tract (large airways to periphery), e.g., bronchoactive aerosols
0.8 to 3 μm	Terminal airways and alveolar region, e.g., anti-infective drug pentamidine

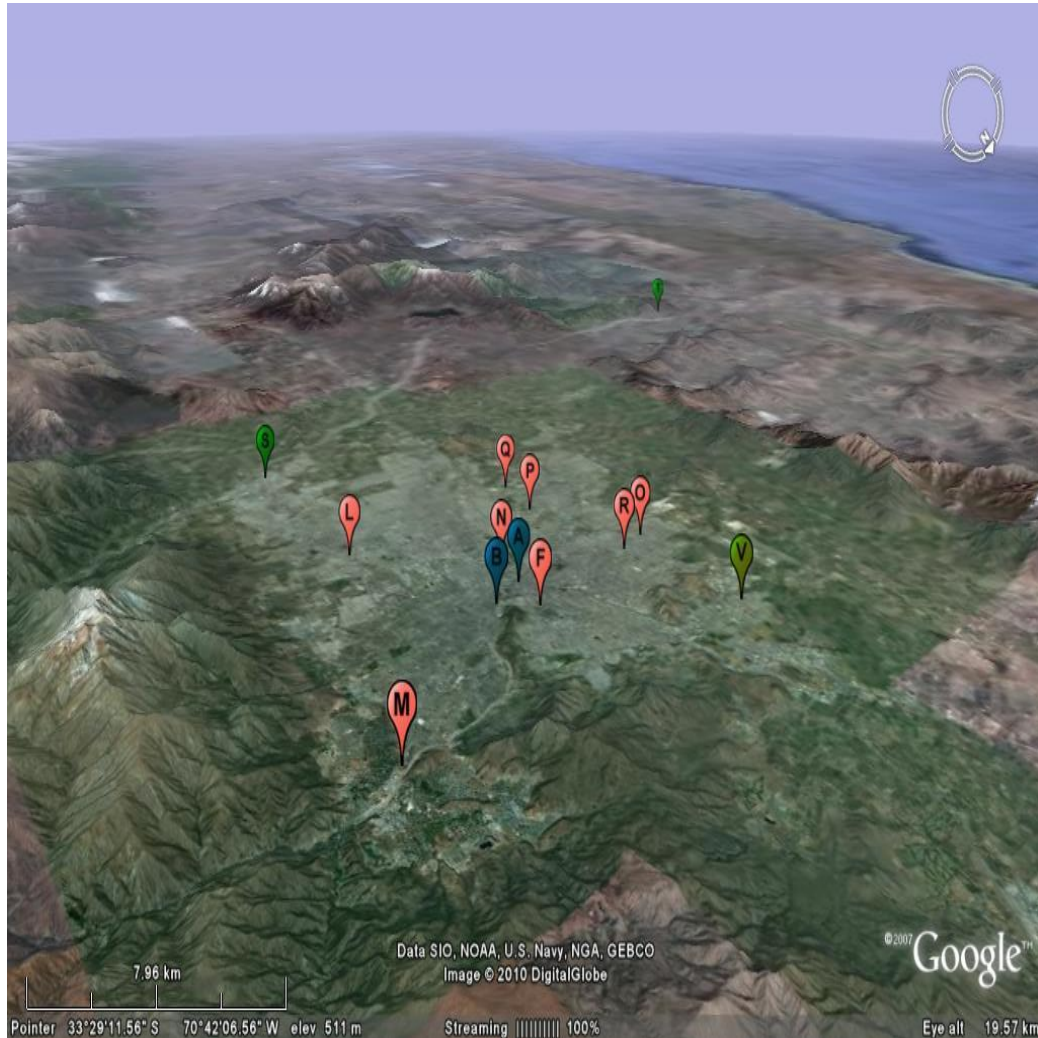
La composición también importa:
los hay más irritantes y más
cancerígenos

Traen asociados severos efectos sobre morbilidad y mortalidad ☹

Calidad del aire en diversas ciudades ~hoy: PM10

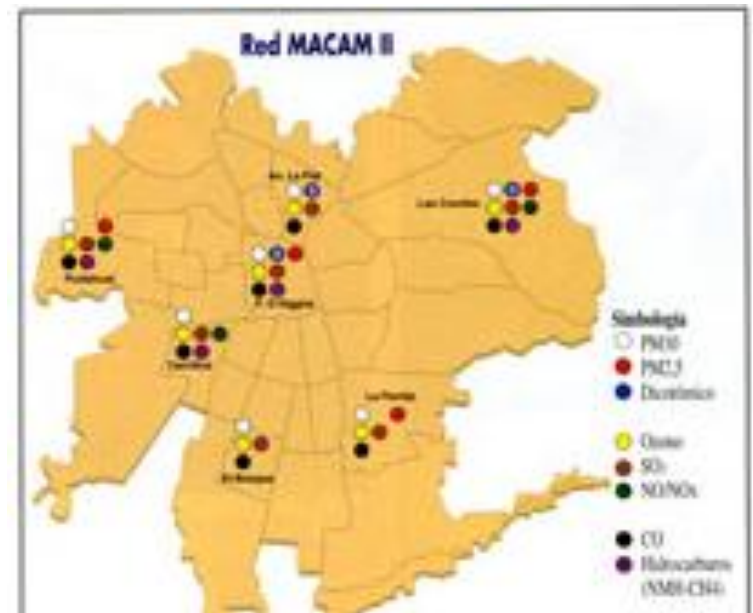


Mediciones consistentes desde 1997 ☺



Las mediciones están a cargo del Ministerio de Salud

Los datos son públicos y están en línea



<http://www.seremisaludrm.cl/sitio/pag/aire/indexjs3aireindices-prueba.asp>

LGK GF3022

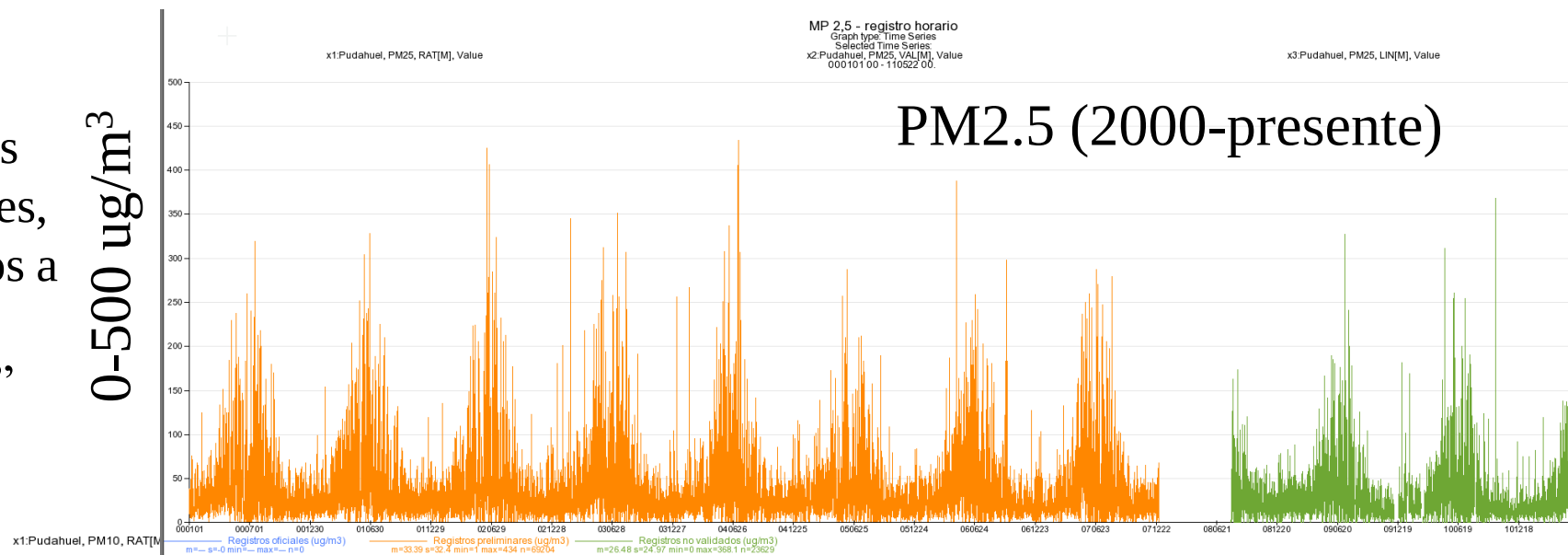
<http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/M?cache=off&>

Observaciones de aerosoles en Pudahuel

Máximos
invernales,
asociados a
“bajas
costeras”

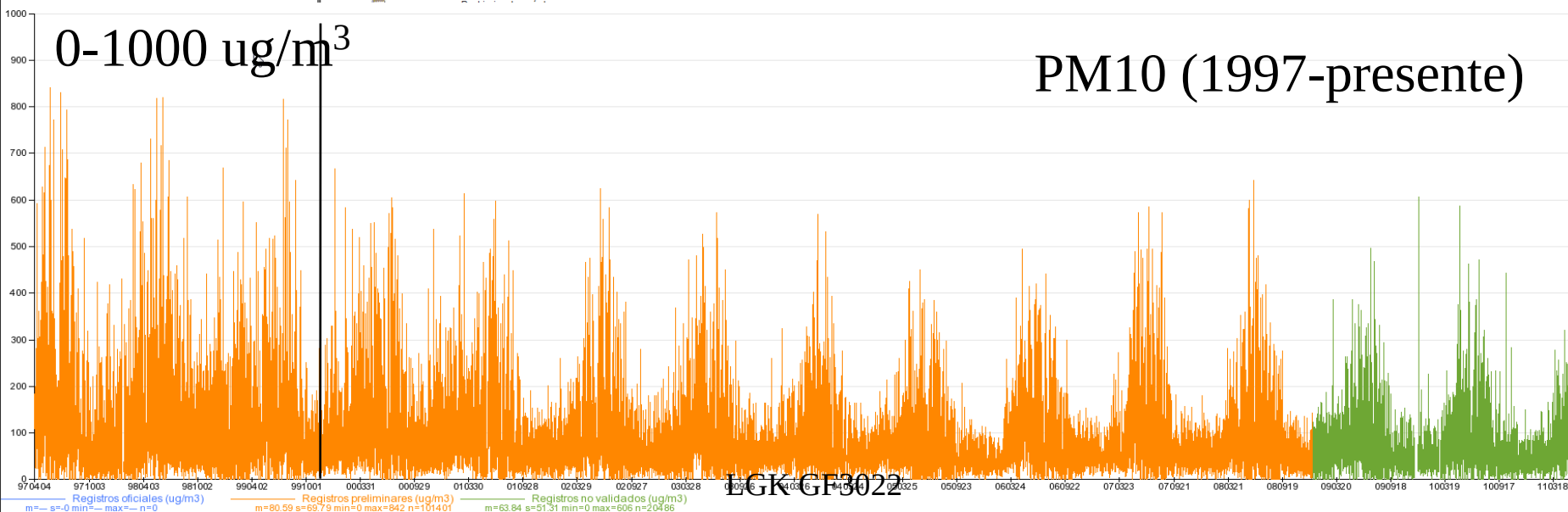
0-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM2.5 (2000-presente)

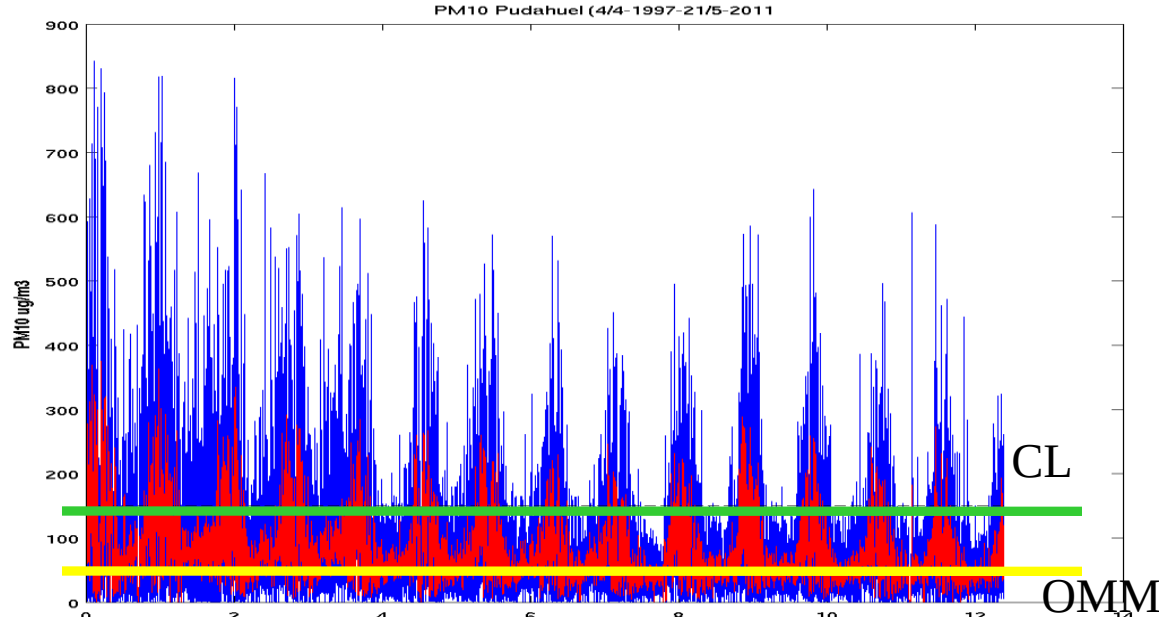


0-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM10 (1997-presente)



¿Tendencias en Pudahuel?



El número de eventos agudos ha bajado (Media móvil de 24 horas $> 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Pero los promedios anuales son todavía demasiado altos.

OMM recomienda

PM2.5

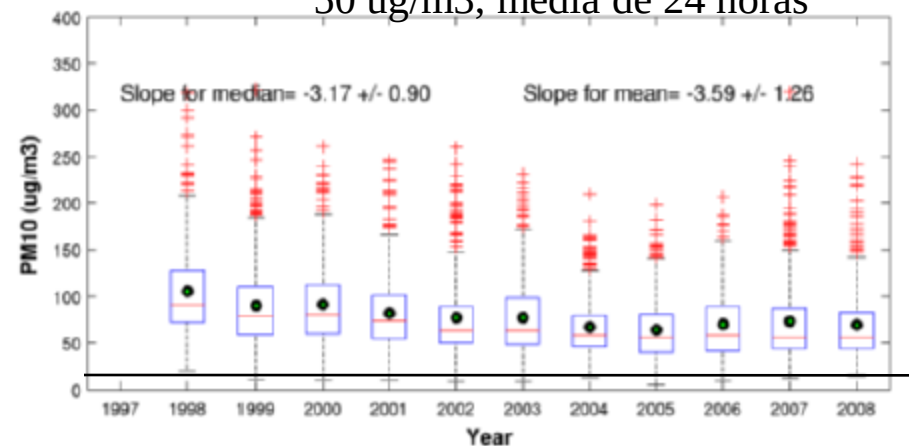
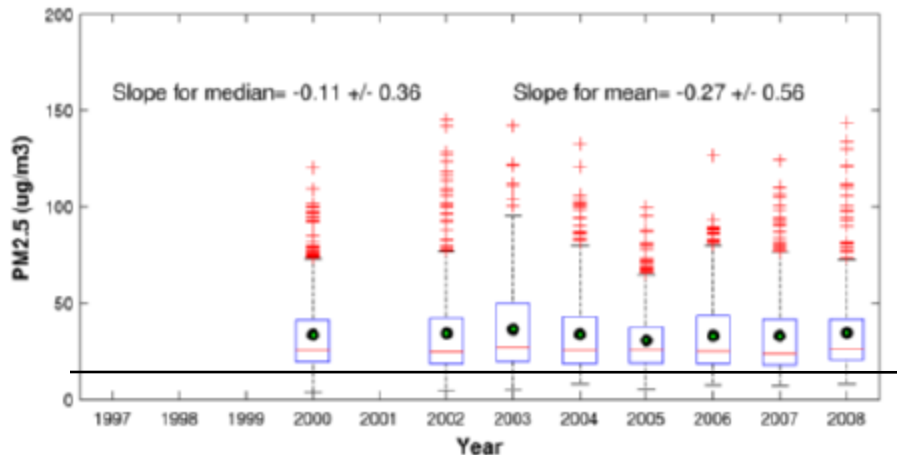
10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual

25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas

PM10

20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual

50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas



LGK 31.02.22

Fuentes de aerosoles en Santiago

City	Base Year	Source Type	Species						Reference
			PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	NO _x	VOCs	SO ₂	
Bogotá	2001	Mobile	1.6	-	306	13.7	47.6	2.3	Zárate et al, 2007
	2001	Stationary	2.9	-	8	1.4	4.4	5.1	
		Total	4.5	-	314	15.1	52.0	7.4	
Buenos Aires	2006	Mobile	5.2	-	569	81.0	70	6.6	D'Angiola et al. 2009
	2006	Stationary	2.5	-	9.9	29.8	1.6	15.9	Oreggioni. 2009
		Total	7.7	-	579	130.8	71.6	22.5	
Lima	2000	Mobile	4.6	-	198.5	63.4	32.6	28.7	MTC, 2010
	2004	Stationary	8.8	-	11	7.8	8.4	40.3	DIGESA. 2005
		Total	-	-	341	78	81	51.5	
Medellín	2008	Mobile	2.2	-	204	18.2	29	0.2	AMVA. 2008
	2008	Stationary	2.8	-	12.8	5.1	5	31.4	
		Total	5.0	-	217	23.3	34	31.6	
Rio de Janeiro	2003	Stationary	10.6	-	6.3	30.3	26	55.8	FEEMA. 2004
	2003	Mobile	7.8	-	315	60.2	53	7.5	
		Total	18.4	-	321	90.5	79.0	63.3	
Santiago	2005	Mobile	1.8	1.4	211	37.9	20	0.2	DICTUC. 2007
		Stationary	3.0	2.4	24	13.8	83	13.2	
		Total	4.8	3.8	235	51.7	103	13.4	
São Paulo	2009	Mobile	31*	-	1533	362	370	8	CETESB. 2010
		Stationary	32*	-	39	14	12	17	

kton/año



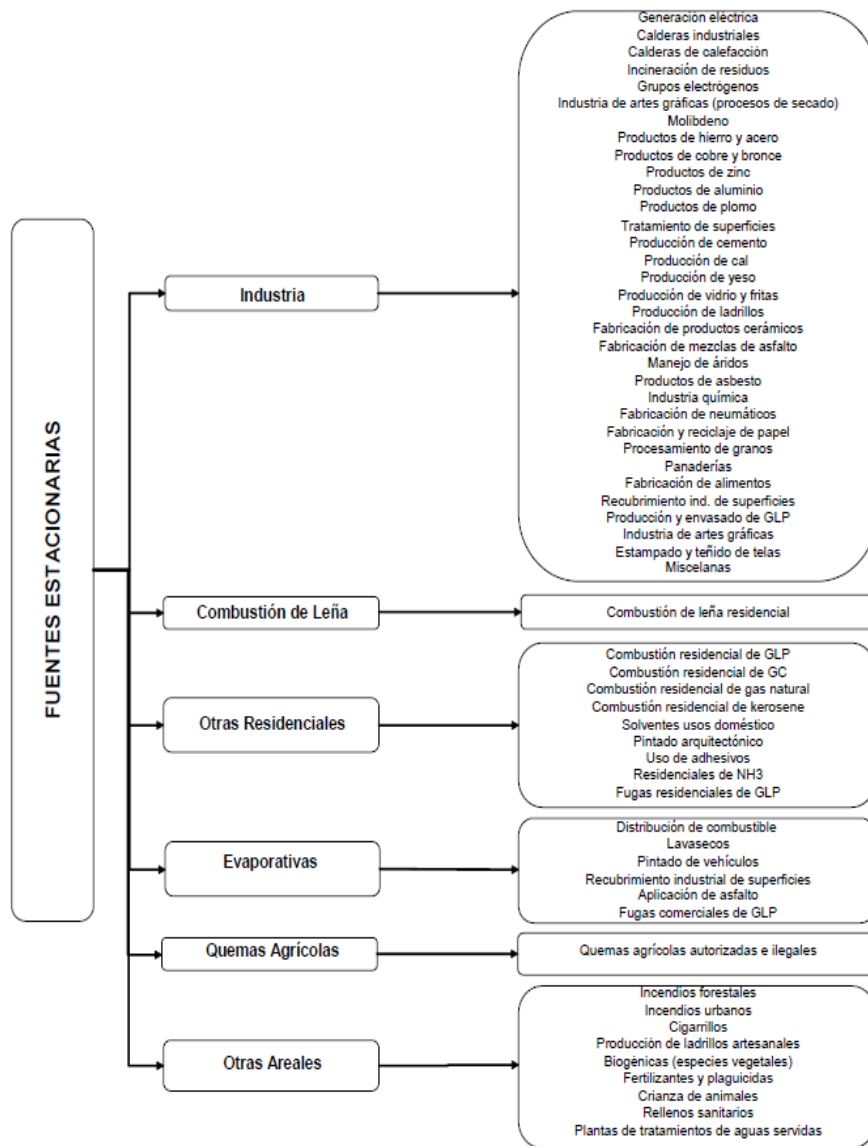


Figura 3: Estructura de agrupación de fuentes estacionarias

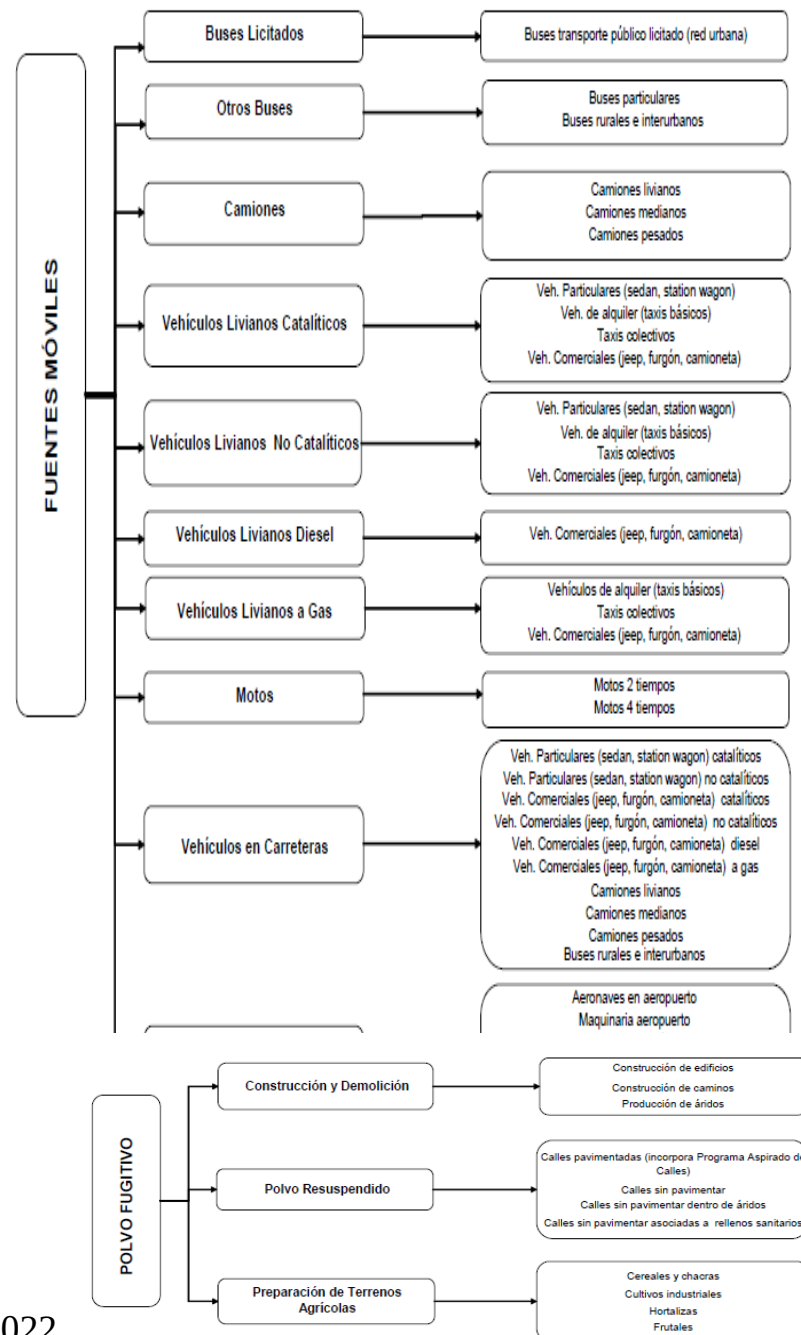
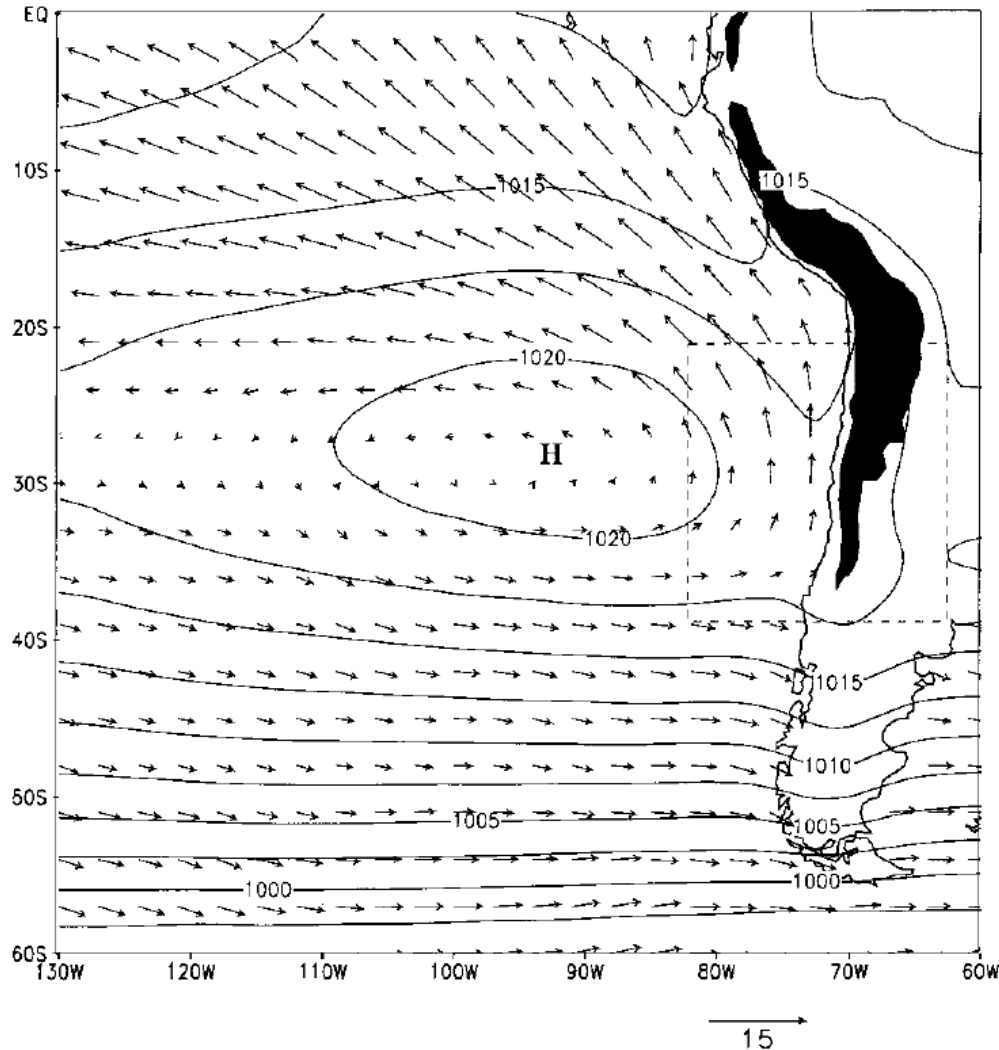


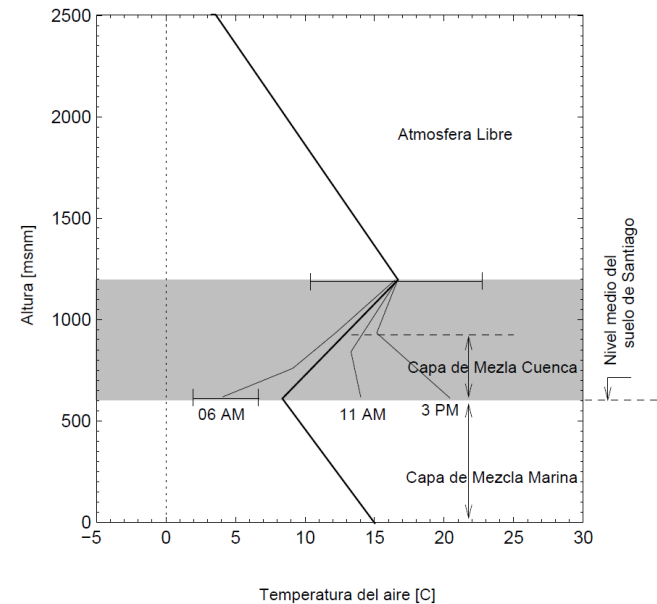
Figura 5: Estructura de agrupación de fuentes de polvo fugitivo

Mezcla y estabilidad en la cuenca de Santiago



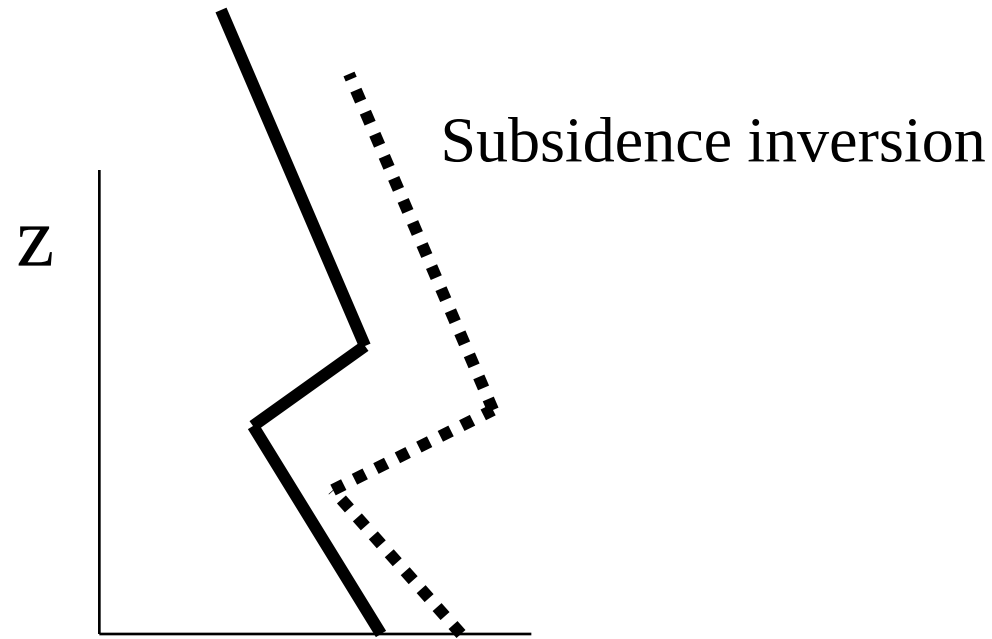
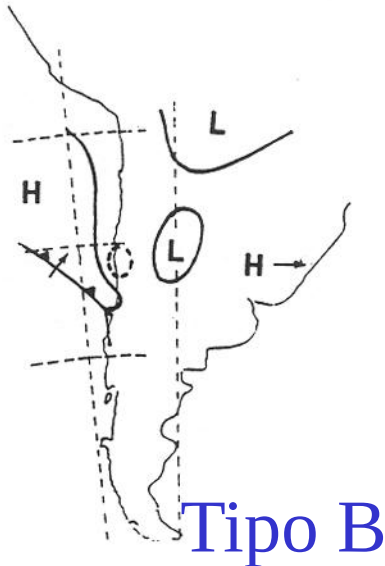
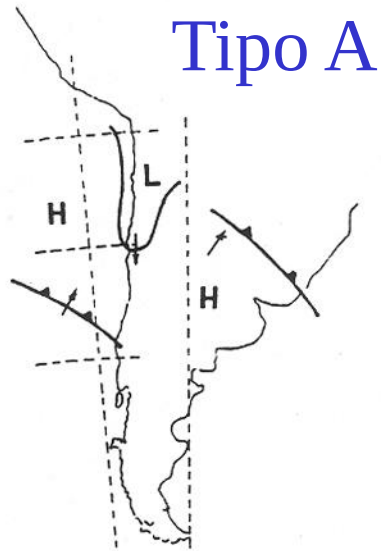
LGK GF3022

Predominio de alta del
Pacífico
(Inversión de
subsistencia)



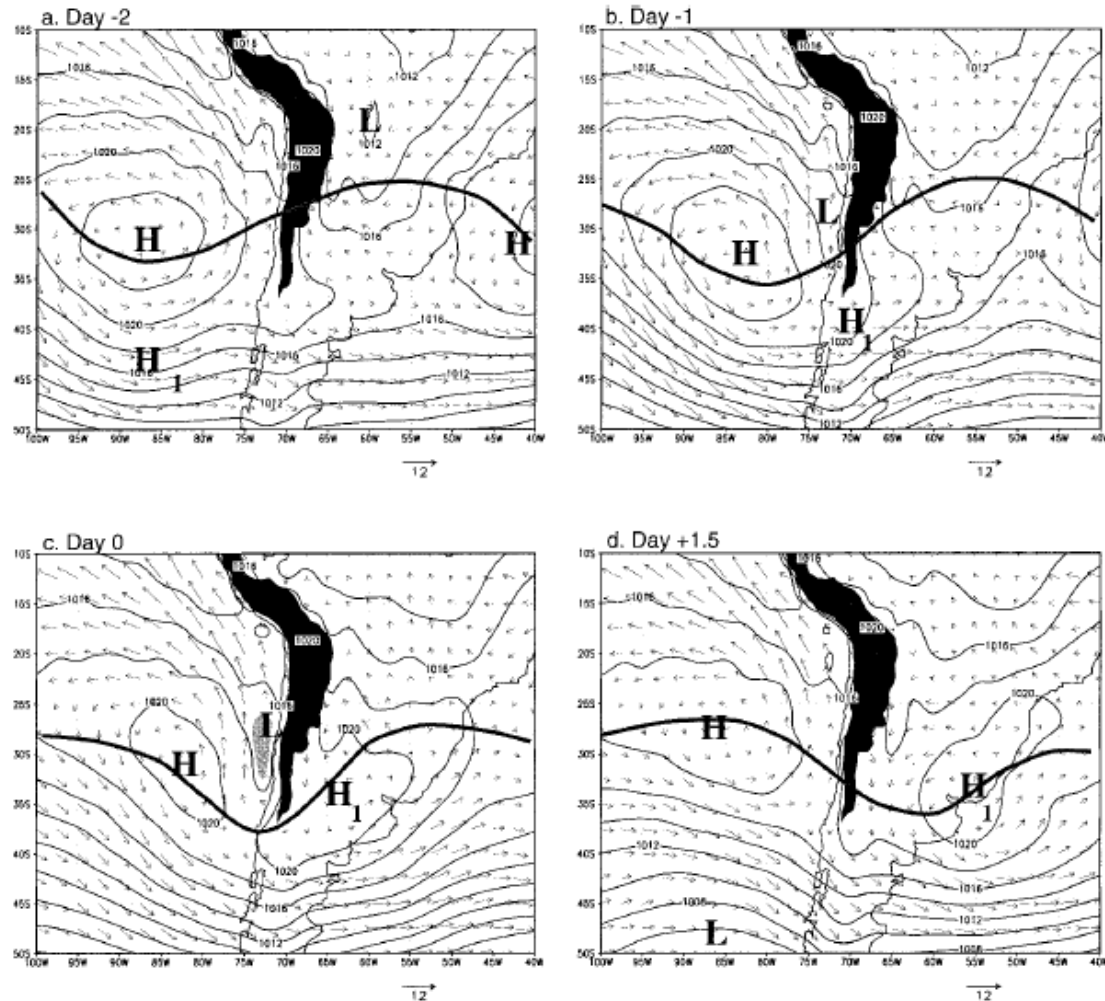
Condición base

Bajas costeras

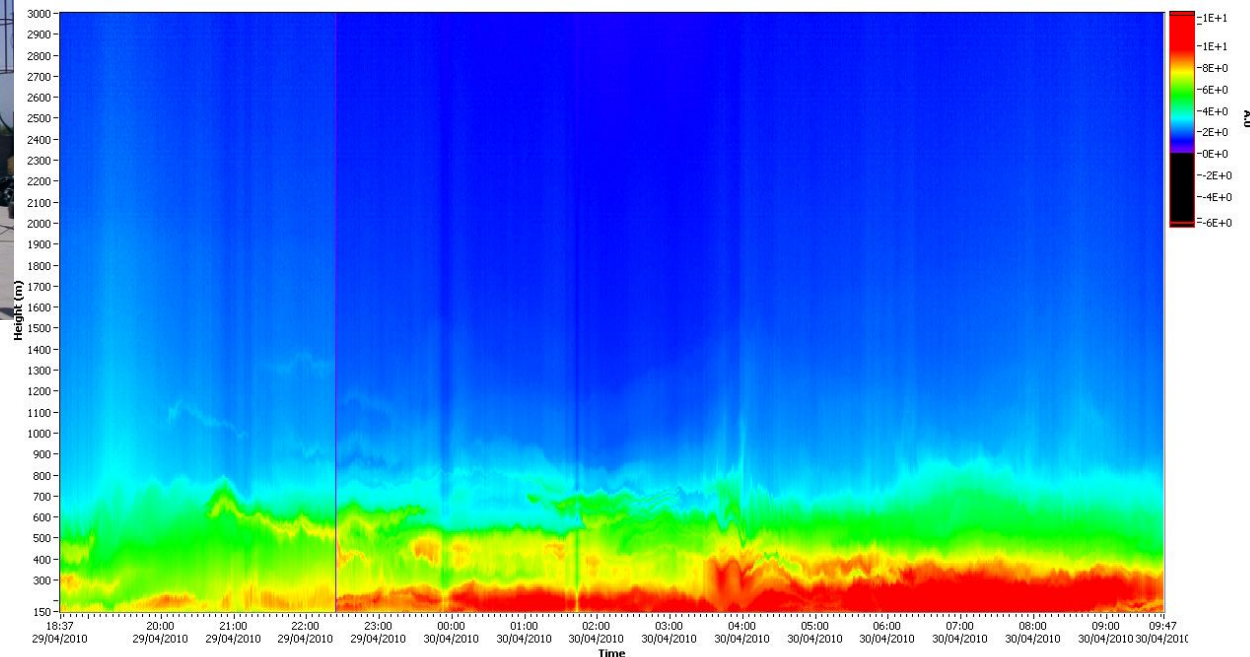
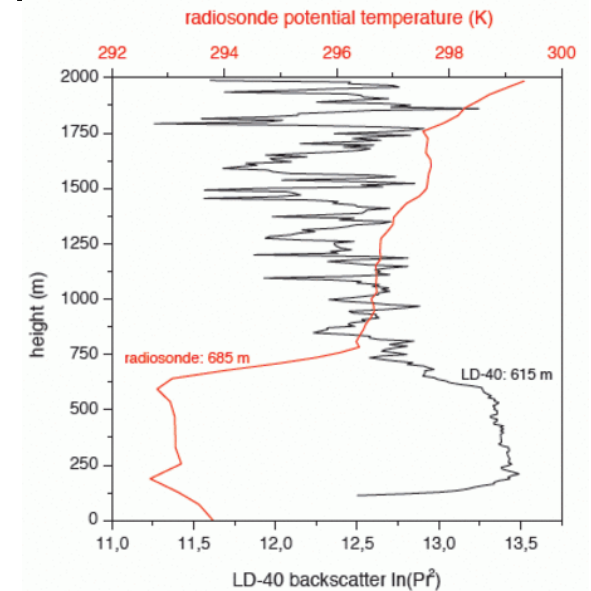


- Vientos del este y cielos despejados
- Tras el paso de la baja costera entra aire marino

Evolución típica de una baja costera



Observando la capa límite





¿Predicción de eventos?

Aproximaciones estadísticas

- Cassmassi, J., 1999. Improvement of the Forecast of Air Quality and of the Knowledge of the Local Meteorological Conditions in the Metropolitan Region. Technical report 2. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región Metropolitana de Santiago.
- Jorquera, H., Castro, J., 2010. Analysis of urban pollution episodes by inverse modeling. Atmospheric Environment 44, 42e54.
- Perez, P., Reyes, J., 2002. Prediction of maximum of 24-h average of PM10 concentrations 30 h in advance in Santiago, Chile. Atmospheric Environment 36, 4555e4561.
- Perez, P., Palacios, R., Castillo, A., 2004. Carbon monoxide concentration forecasting in Santiago, Chile. Journal of the Air & Waste Management Association 54, 908e913.
- Perez, P., Reyes, J., 2006. An integrated neural network model for PM10 forecasting. Atmospheric Environment 40, 2845e2851.
- Perez, P., Salini, G., 2008. PM2.5 forecasting in a large city: comparison of three methods. Atmospheric Environment 42, 8219e8224.

Aproximaciones numéricas

- Saide, P., Carmichael, G., Gallardo, L., Osses, A., Mena, M., and Pagowski, M., 2011: Forecasting urban PM10 and PM2.5 pollution episodes in very stable nocturnal conditions and complex terrain using WRF-Chem CO tracer model. Atmospheric Environment (2011), doi:10.1016/j.atmosenv.2011.02.001

Es muy difícil pues:

***las condiciones meteorológicas cambian abruptamente**

***las condiciones son de extrema estabilidad y circulaciones locales juegan rol**

***Las emisiones no se conocen con el detalle suficiente**

***La formación de aerosoles secundarios está insuficientemente caracterizada**

***Se requiere tomar medidas de control con mucha anticipación (~2 a 3 días)**

Temas de discusión

- “La autoridad sólo se ha dedicado a controlar los efectos agudos del material particulado. No así a los efectos crónicos.”
- “Los modelos estadísticos no sirven para pronosticar episodios, hay que usar una modelos numéricos”



Estudio de las universidades de Iowa, de Chile y Andrés Bello:
Tomar medidas el día antes de los episodios críticos por esmog no reduce la contaminación

La investigación también descubrió que aunque Pudahuel sufre más contaminación en invierno, el resto del año el porcentaje de material particulado es mayor en La Florida.

Nuestro país no es una excepción. Los datos muestran que el 60 por ciento de los episodios críticos de contaminación ocurren en invierno, pero el resto del año el porcentaje de material particulado es mayor en La Florida. La investigación también descubrió que aunque Pudahuel sufre más contaminación en invierno, el resto del año el porcentaje de material particulado es mayor en La Florida.

LGK GF3022



Lecturas de hoy

Chap 8 . Aerosols. Jacob, D.J., *Introduction to Atmospheric Chemistry*, 266 pp., Princeton University Press, 1999.

<http://acmg.seas.harvard.edu/publications/jacobbook/index.html>

Salud y material particulado

http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

Profundización

Properties of Atmospheric Aerosols (Ch 7). In *Atmospheric Chemistry and Physics*. J. Seinfeld & S. Pandis, 1998/2006

