

Calidad del aire urbano y estrategias de mejora

Xavier.querol@ija.csic.es

Donosti, 20 de Mayo de 2008



Querol X.¹, Alastuey A.¹, Viana M.M.¹, Moreno T.¹, Pey J.¹, Pérez N.¹, Amato F.¹, Minguillón M.¹, Artíñano B.², Salvador P.², Fernández-Patier R.³, García Dos Santos S.³, Herce M.D.³, Monfort E.⁴, de la Rosa J.⁵, Sánchez de la Campa A.⁵, Palomo R.⁶, Pinilla E. R.⁶, Moreno S.⁷, Negral L.⁷

¹Instituto de Ciencias de la Tierra del CSIC, Barcelona, ²CIEMAT, Madrid, ³Instituto de Salud Carlos III, Madrid, ⁴Instituto de Tecnología Cerámica, Castelló, ⁵ Departamento Geología Universidad Huelva, ⁶Departamento de Química Analítica, Universidad de Extremadura, ⁷Universidad Politécnica de Cartagena



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

D.G. Calidad y Evaluación Ambiental (MMA)- CSIC-INM (MMA) EVALUACION DE LA CONTAMINACIÓN EN PM EN ESPAÑA

- **Introducción: contaminación en áreas urbanas**
- **Metodología**
- **Resultados**
 - Niveles PM10, PM2.5 & PM1**
 - Variación espacial - temporal componentes PM**
 - Metales**
 - Comparación con otras zonas de Europa**
- **Conclusiones**

LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.:

“Contaminación atmosférica”: la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza.

A tener en cuenta que:

- No se conocen todas las sustancias presentes en la atmósfera**
- Para algunos componentes no hay umbral de protección en cuanto a niveles**
- Cualquier actividad produce emisiones de sustancias a la atmósfera**

Emisión

DIRECTIVA 96/61/CE ♦ IPPC Prevención y control Integrado de la contaminación

Aire ambiente

DIRECTIVA MADRE 96/62/CE ♦ Evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente
SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, TSP, Pb, O₃, benceno, CO, PAH, Cd, As, Ni y Hg

Directiva 1999/30/CE ♦ SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, Pb (R.D. 1073-Oct 2002) (PM_{2.5}??)

Directiva 2000/69/CE ♦ benceno, CO

Directiva 2002/03/CE ♦ O₃

Directiva 2004/107/CE ♦ PAH, Cd, As, Ni, Hg

**Fecha cumplimiento
2005-2010**

(PM_{2.5}) → **Directiva Calidad del Aire y Aire Limpio para Europa 2007**

Fechas cumplimiento 2010, 2020

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: VALORES LÍMITE Y OBJETIVO



RD 1073/2002, 18 Oct 2002, BOE 260, 30 Oct 2002
y propuesta de nueva directiva

293 °K , 101,3 kPa
excepto PM y metales, Cond. Amb.

Horario	350 µg/m ³ SO ₂	24 ocasiones por año
Diario	125 µg/m ³ SO ₂	3 ocasiones por año
Anual prot. ecos.	20 µg/m ³ SO ₂	no superar ni anual ni media 1 Oct-31 Mar
Horario	200 µg/m ³ NO ₂	18 ocasiones por año
Anual	40 µg/m ³ NO ₂	no superar
Anual prot. vegetación	30 µg/m ³ NO _x	(expresado como NO ₂) no superar
Anual	30 (5) µg/m ³ Benceno	no superar
Media 8-h máx. en un día	10 mg/m ³ CO	no superar
Anual	500 ng/m ³ Pb	no superar
Anual	40 µg/m ³ PM ₁₀	no superar
Diario	50 µg/m ³ PM ₁₀	n<35 por año
Anual	(25 y 20 (18) µg/m ³ PM _{2.5})	no superar
2010-2020	(reducir 20% PM _{2.5} anual en estaciones de fondo urbano)	

RD 8012/2007 del 22 de Junio de 2007, BOE, 23 Junio 2007

Anual	6 ng/m ³ As	no superar
Anual	20 ng/m ³ Ni	no superar
Anual	5 ng/m ³ Cd	no superar
Anual	1 ng/m ³ Benzo[α]pireno	no superar

Parámetros críticos (incumplimiento)

RD 1796/2003, 26 Dic 2003, relativo al Ozono en el aire ambiente

AOT40 [expresado en $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$] = suma de la diferencia entre las concentraciones horarias superiores a los $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a lo largo de un período dado utilizando únicamente los valores horarios medidos entre las 8.00 y las 20.00 horas, Hora de Europa Central (HEC), cada día

Valor objetivo

protección salud humana

Máximo de las medias 8 h del día

$120 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$

no superar más de 25 días/año
promedio en período 3 años

Valor objetivo

protección vegetación

AOT40, valores horarios de mayo a julio

$18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h} \text{O}_3$

no superar promedio en un
período de 5 años (c)

Umbral de información: horario

$180 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$

Umbral de alerta: horario

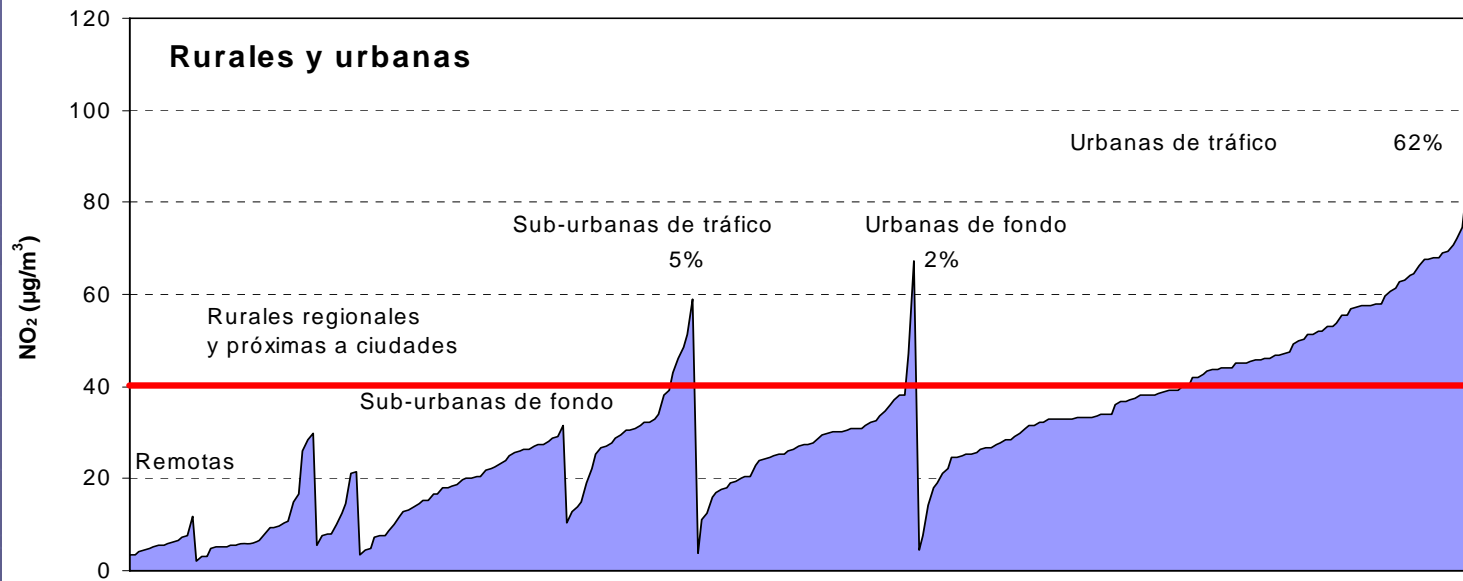
$240 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$

Niveles elevados fuera del entorno urbano

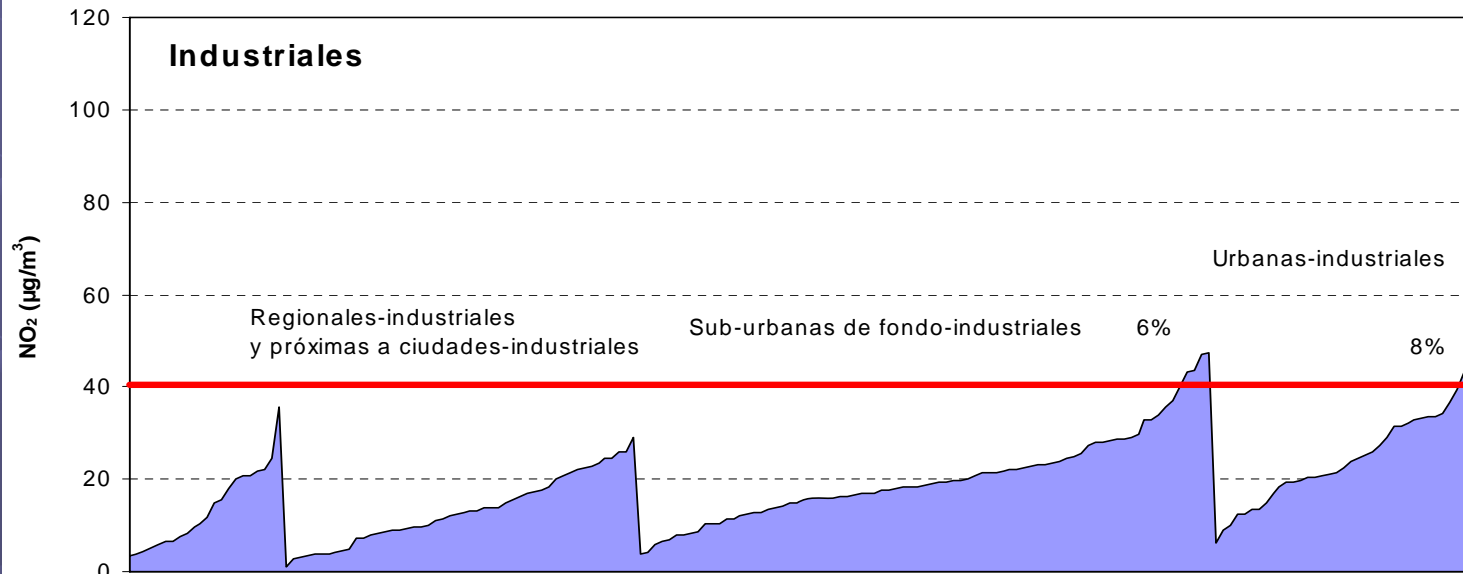
Parámetro	Anterior legislación $\mu\text{gTSP m}^{-3}$	Directivas UE
-----------	---	---------------

	E	C1	C2	C3	TOTAL EU-15 TO 34
Rural	15/18/22/22/33/39	4/4/4/4/4	19/18/20/15/39	0/1/3/5/7	121/162/188/191/244
Urbanas	18/24/32/29/67/99	50/52/53/53/50	27/27/33/38/57	8/10/16/21/22	501/571/653/764/966
Tráfico	81/96/101/79/138/127	10/11/11/11/11	8/8/10/16/21	5/9/14/19/22	368/419/503/545/656
Industriales	44/64/69/66/87/167	4/4/4/6/6	1/1/2/1/2	1/2/1/2/3	127/175/205/217/254
% hotspots	79/79/76/74/69/68	21/21/21/23	16/17/18/24	43/50/44/45/46	44/45/46/44/43
Tráfico/Urbano	4.5-3.2	0.2	0.2-0.4	0.6-1.0	0.7-0.8
AirBase, 2001/02/03/04/05/06					

Proporción de hotspots muy superior a EU-25, para comparar diferentes estados miembros los criterios de diseño de redes (ubicación estaciones) deberían ser homogéneos y definidos en legislación

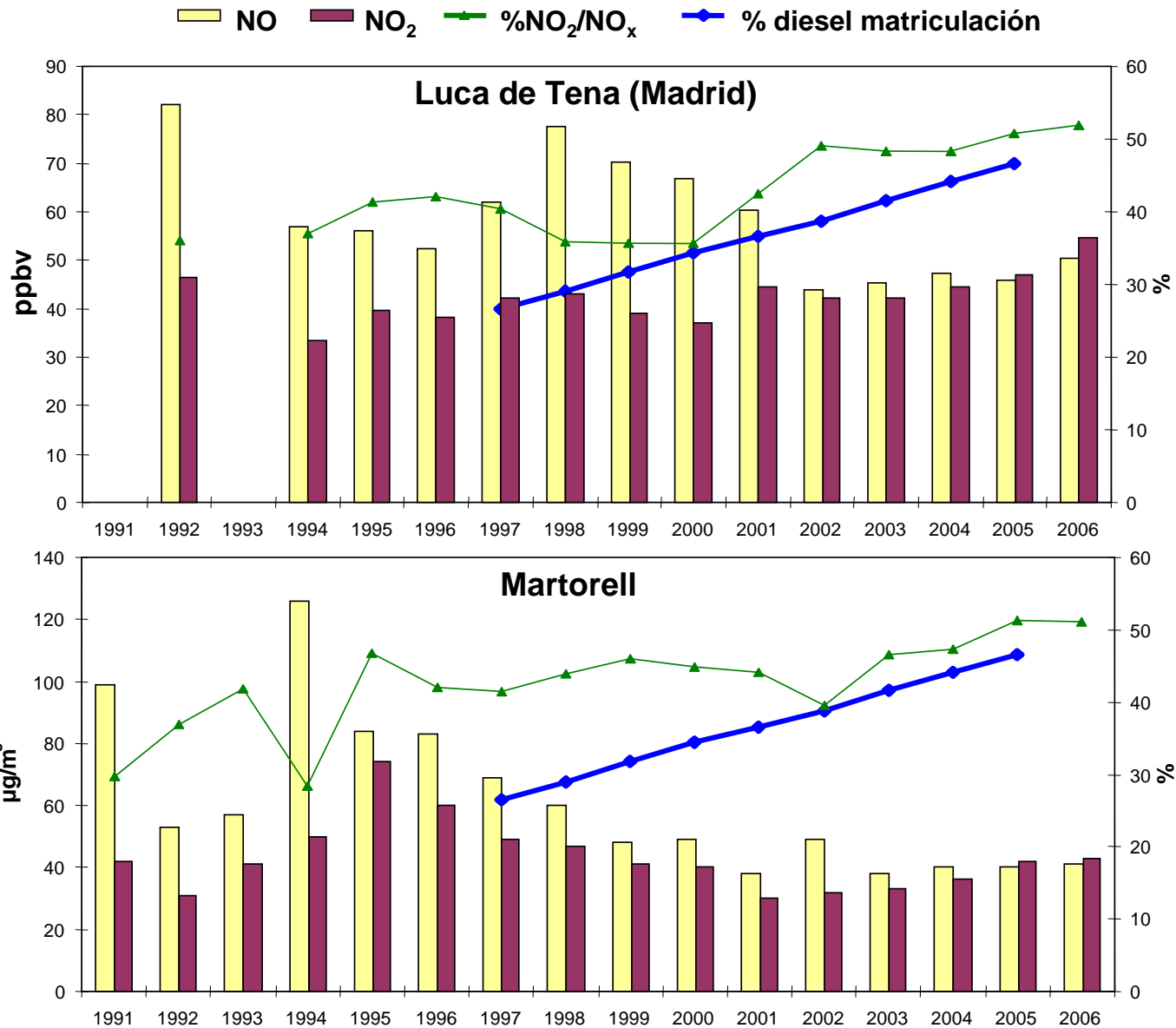


281 estaciones de vigilancia y control calidad del aire (España 2006), 25% superan VLA



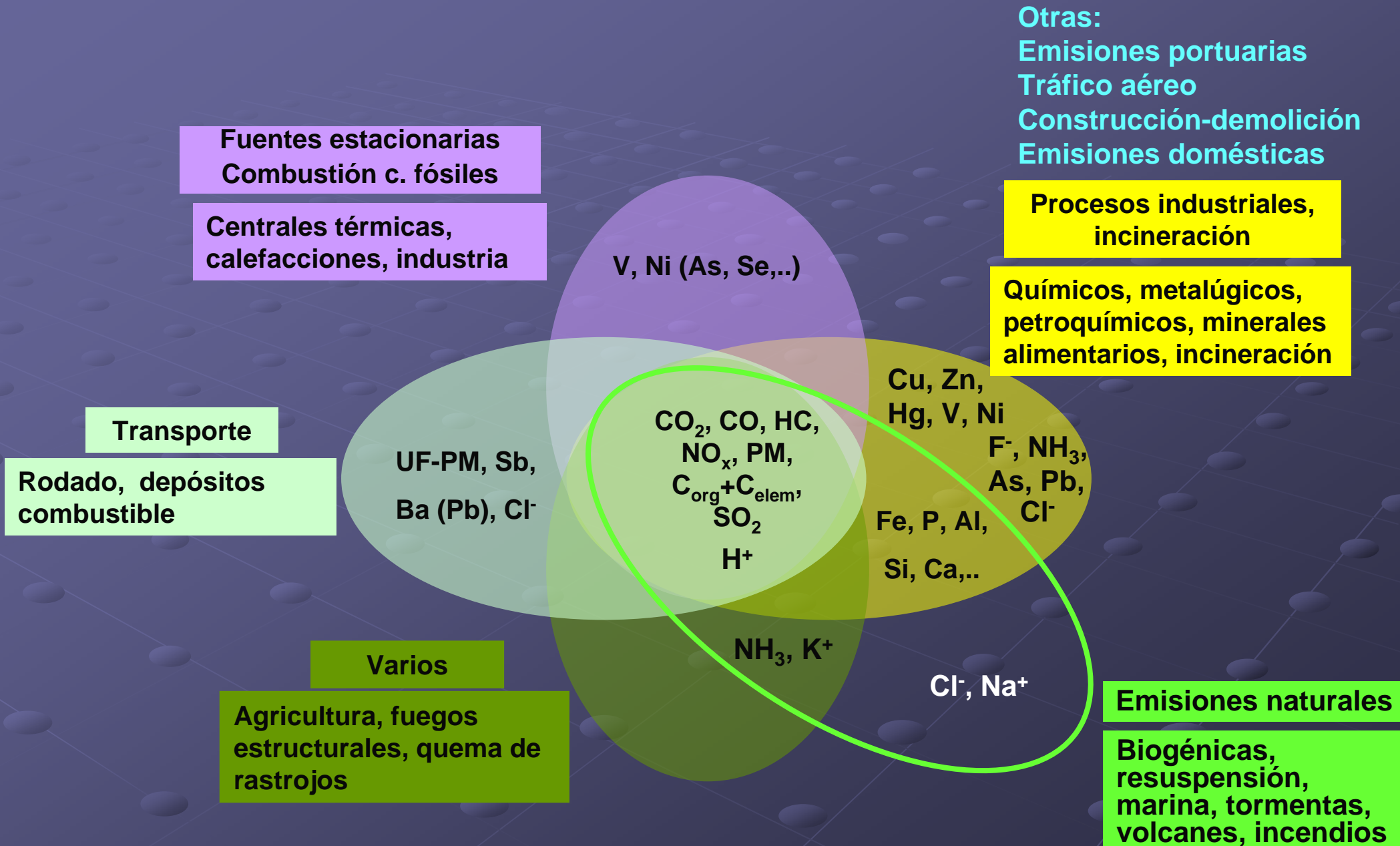
191 estaciones de vigilancia y control calidad del aire (España 2006), 25% superan VLA

Fuente:
MMA



Fuente:
MMA

FUENTES DE EMISIÓN



PRIMARIAS

- **Naturales**
resuspensión local/externa
evaporación/precipitación
- **Antropogénicas**
emisiones directas
emisiones fugitivas

$\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2$
 $\text{CaCO}_3, \text{NaCl}, \text{C}, \text{metales}$

0.1 μm 1.0 μm 10 μm 25 μm

(Soot)

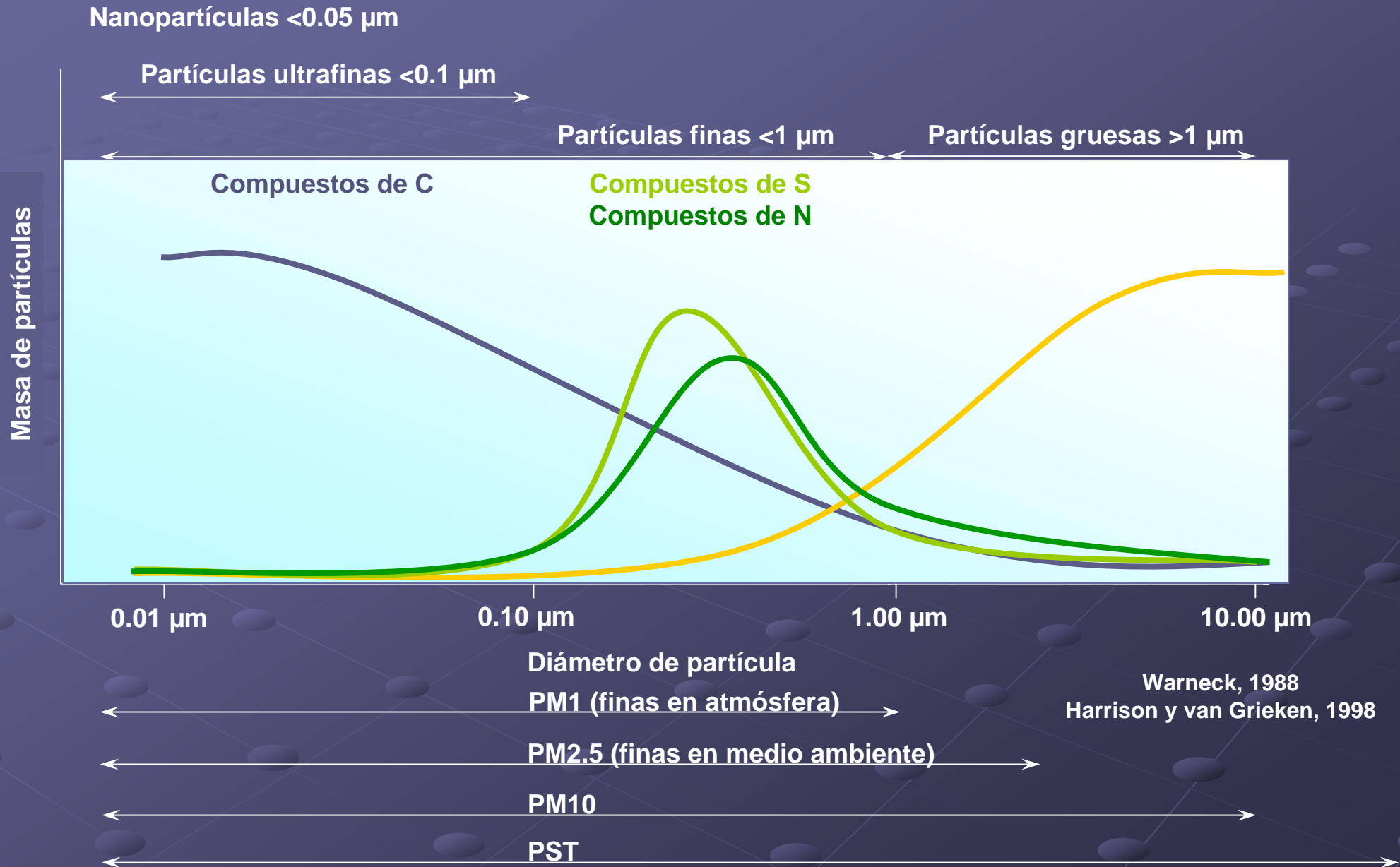
SECUNDARIAS

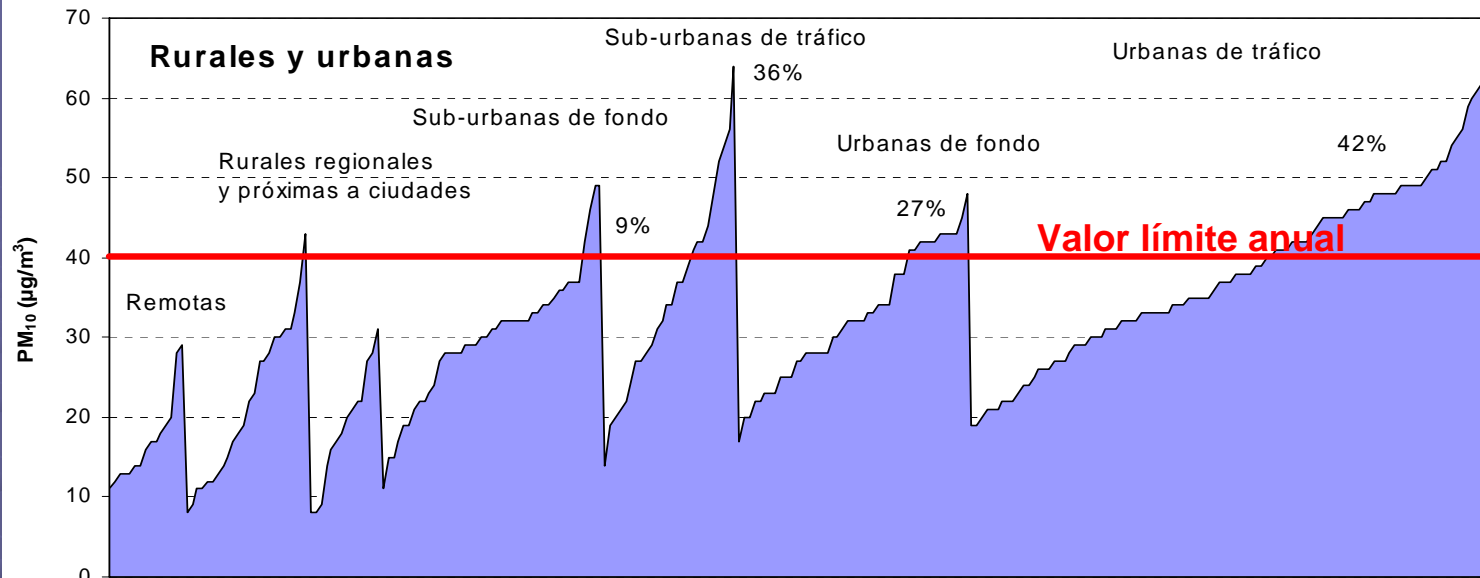
- **Naturales**
sulfatos naturales
emisiones biogénicas
- **Antropogénicas**
emisiones gaseosas:
nucleación, condensación
evaporación

$\text{SO}_4^{=}, \text{NO}_3^{-}, \text{NH}_4^{+}, \text{H}^{+}$
 $\text{C}_{\text{org}}, \text{metales}$

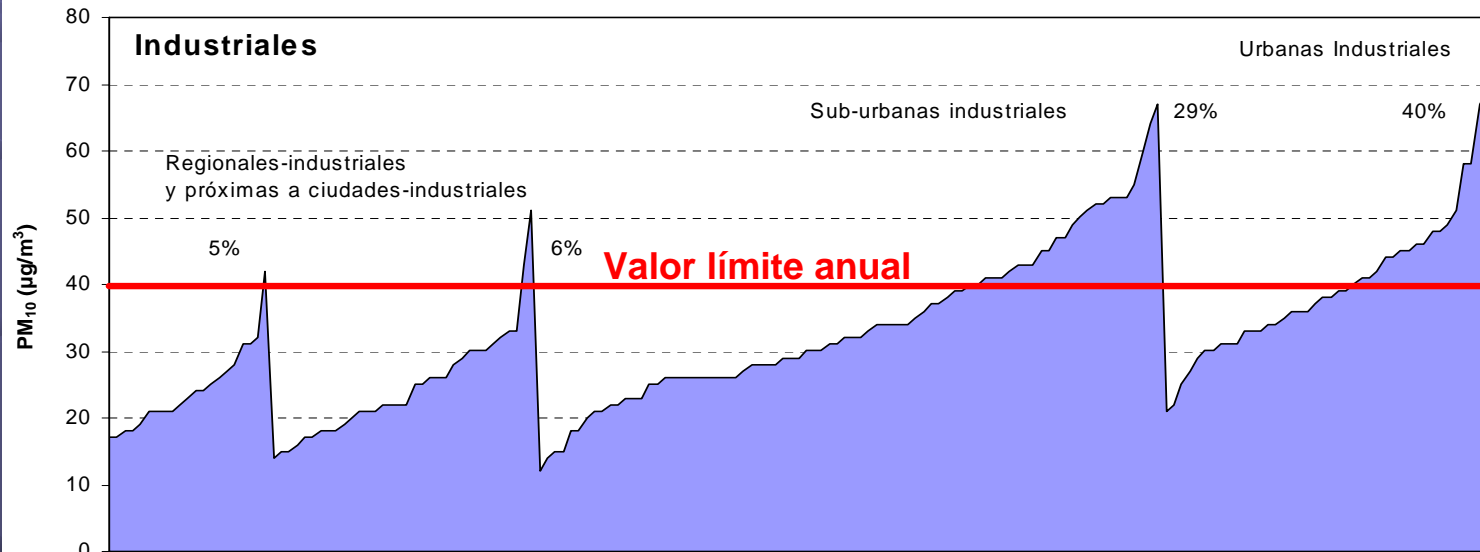
0.1 μm 1.0 μm 10 μm 25 μm

CARACTERÍSTICAS DE LOS AEROSOLES ATMOSFÉRICOS



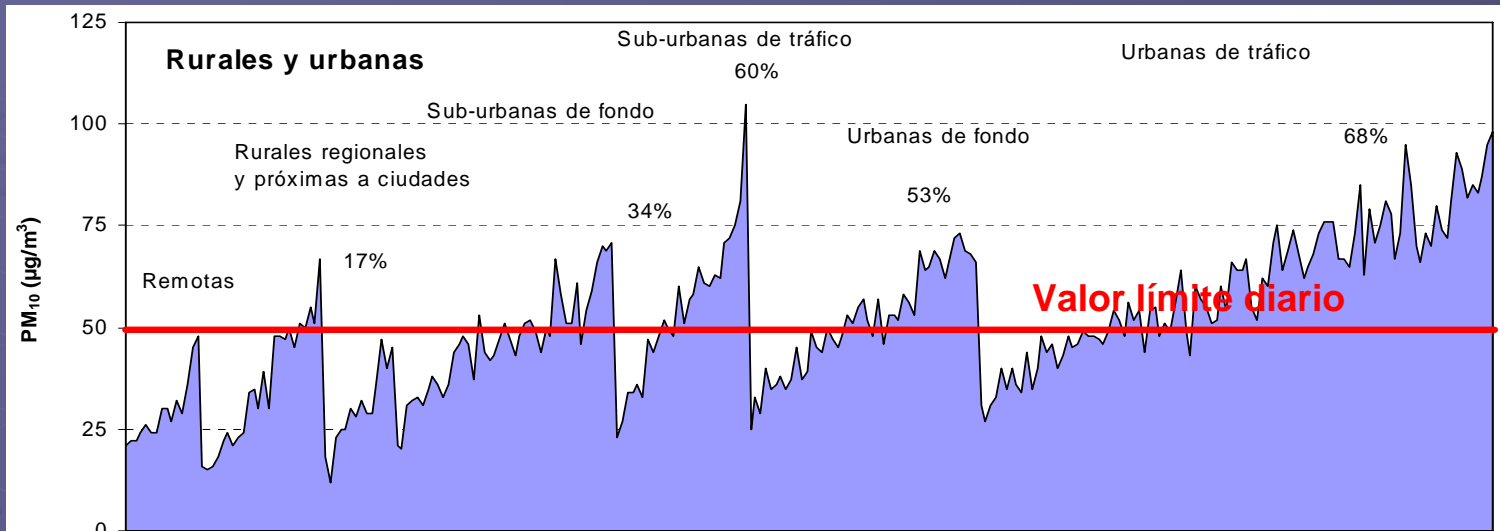


268 estaciones de vigilancia y control calidad del aire (España 2006), 25% superan VLA

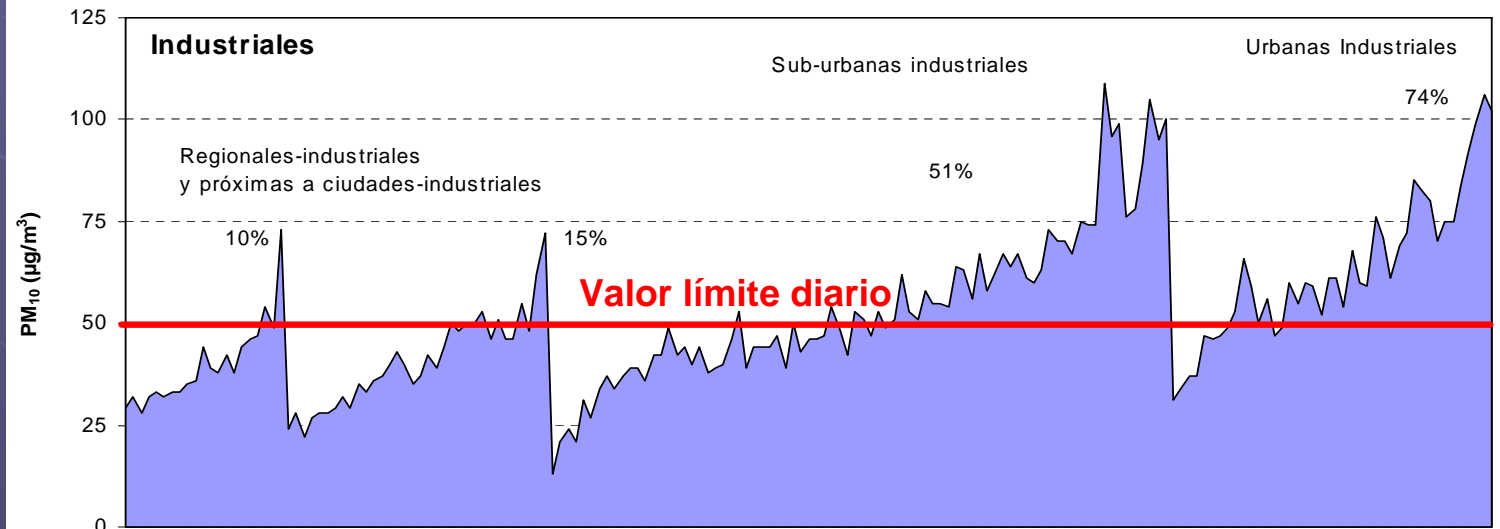


177 estaciones de vigilancia y control calidad del aire (España 2006), 24% superan el VLA

Fuente:
MMA



268 estaciones de vigilancia y control calidad del aire (España 2006), 47% superan VLD



177 estaciones de vigilancia y control calidad del aire (España 2006), 45% superan el VLD

Fuente:
MMA

Estaciones N=37

- 1999-2000
- 2001
- 2002-2003
- 2002-2004
- 2004
- 2003-2005
- 2002-2007
- 2007



Composición de PM en España





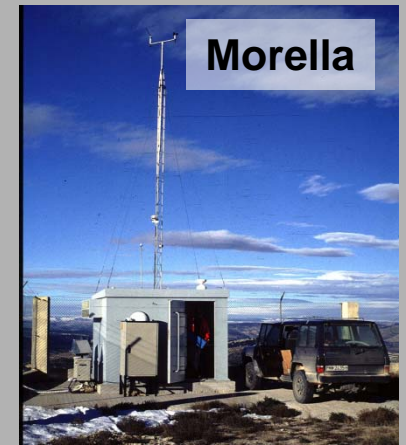
Bemantes



Monagrega



Montseny



Morella



REGIONAL BACKGROUND



Burgos



Bellver, Palma



Santa Ana, Cartagena



Onda

SUB-URBAN BACKGROUND

SUB-URBAN- INDUSTRIAL



Las Palmas



Badajoz



Alcobendas

URBAN BACKGROUND

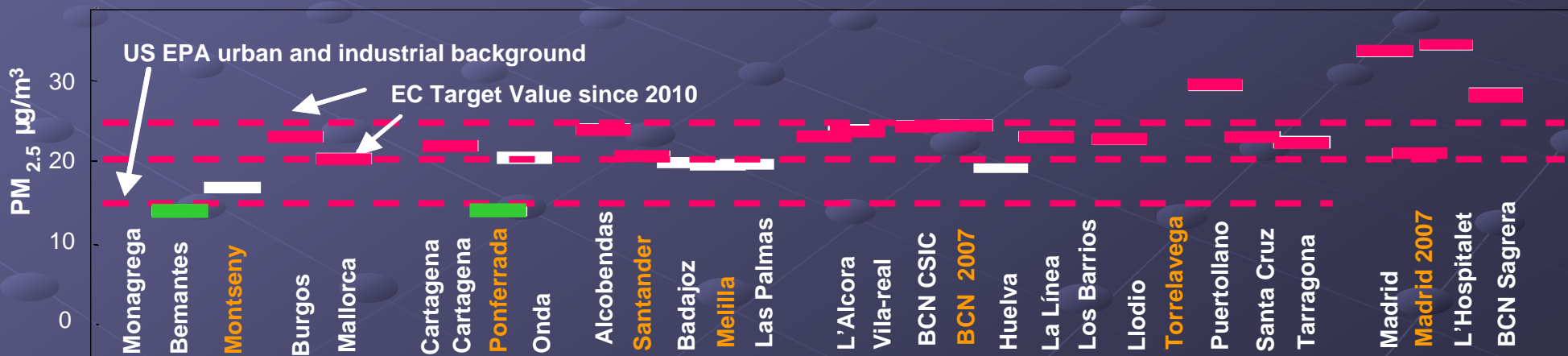
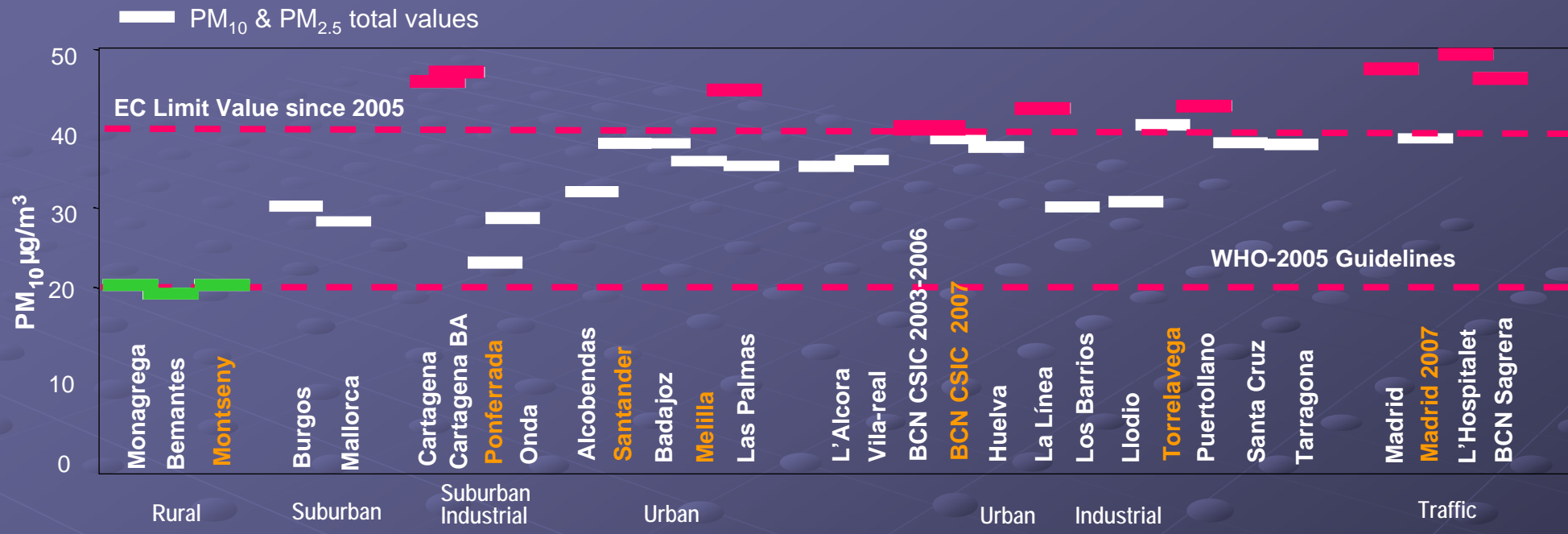
**PM10, PM2.5 GRAVIMETRY
HIGH VOL SAMPLERS**

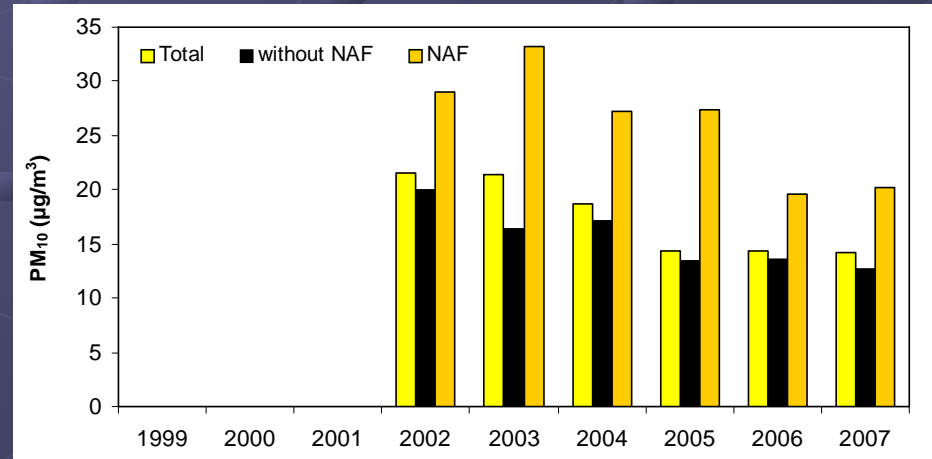
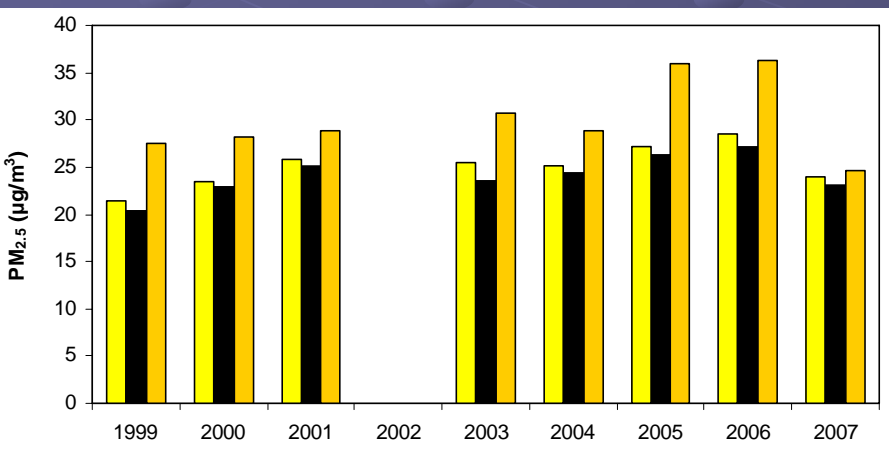
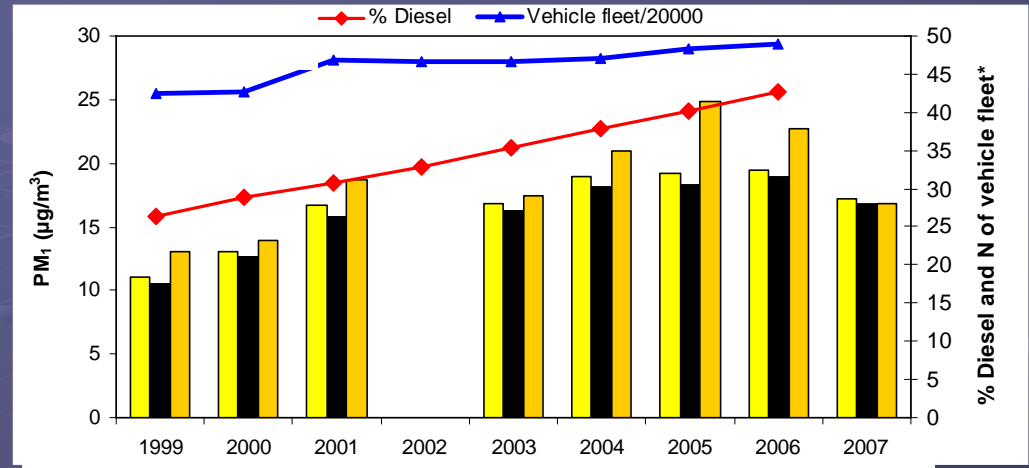
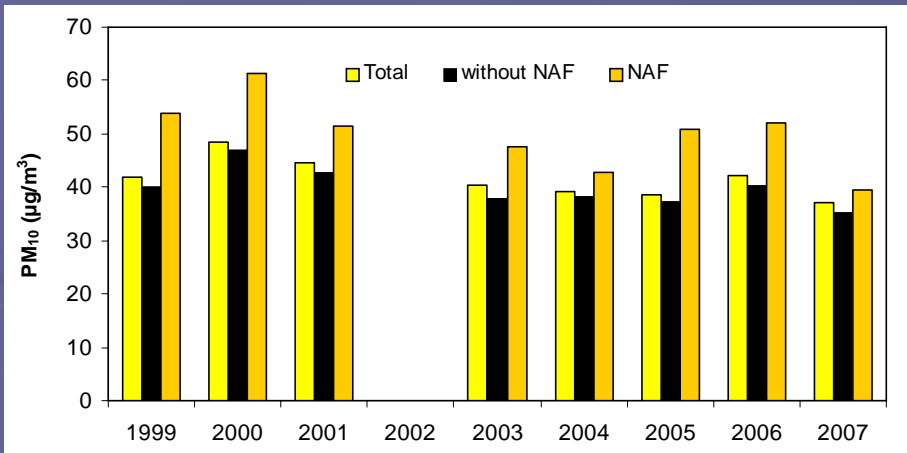
URBANO-INDUSTRIAL BACKGROUND



TRAFFIC HOTSPOTS

NIVELES PM 1999-2007





Barcelona 1999-2007

Montseny 1999-2007

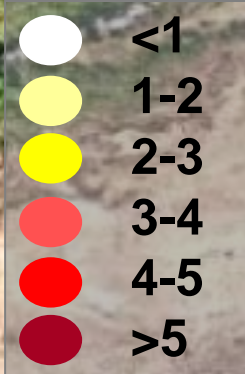
* Zabalza et al., 2006



Major specie (excluding Canary Isl.)

○ EMEP

(Thermal instability of NH_4NO_3 along the year)



NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PM10



* Zabalza et al., 2006

○ EMEP

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Major specie

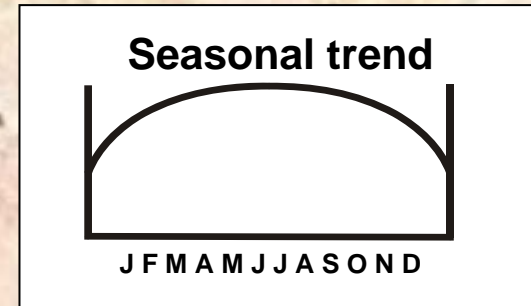
Na_2SO_4

CaSO_4

External origin



nmSO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PM10



2.5

* Zabalza et al., 2006



No local C sources

Maximal dispersion, Trade winds

OM+EC (μg/m³) PM10





[Low re-suspension]



[Influence from Traffic]

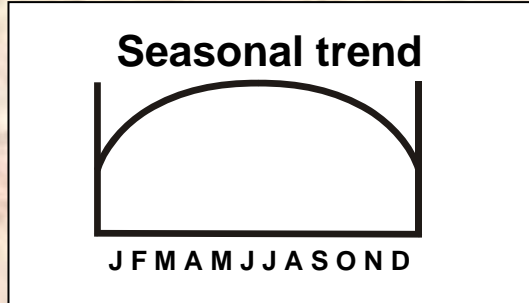


[Influence from Traffic]

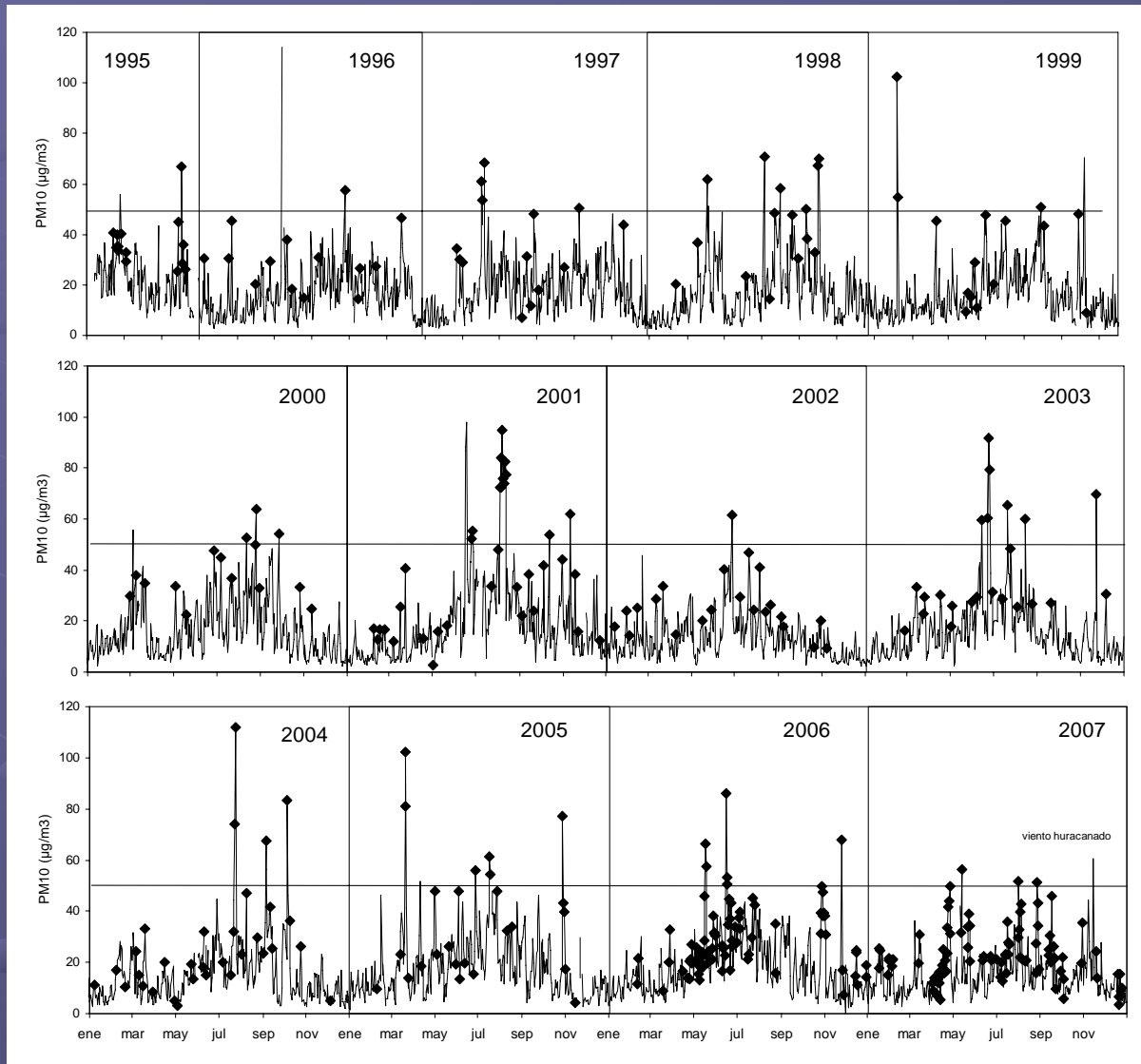
[African contribution]



Mineral matter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PM10



Daily PM₁₀: Monagrega (regional background)

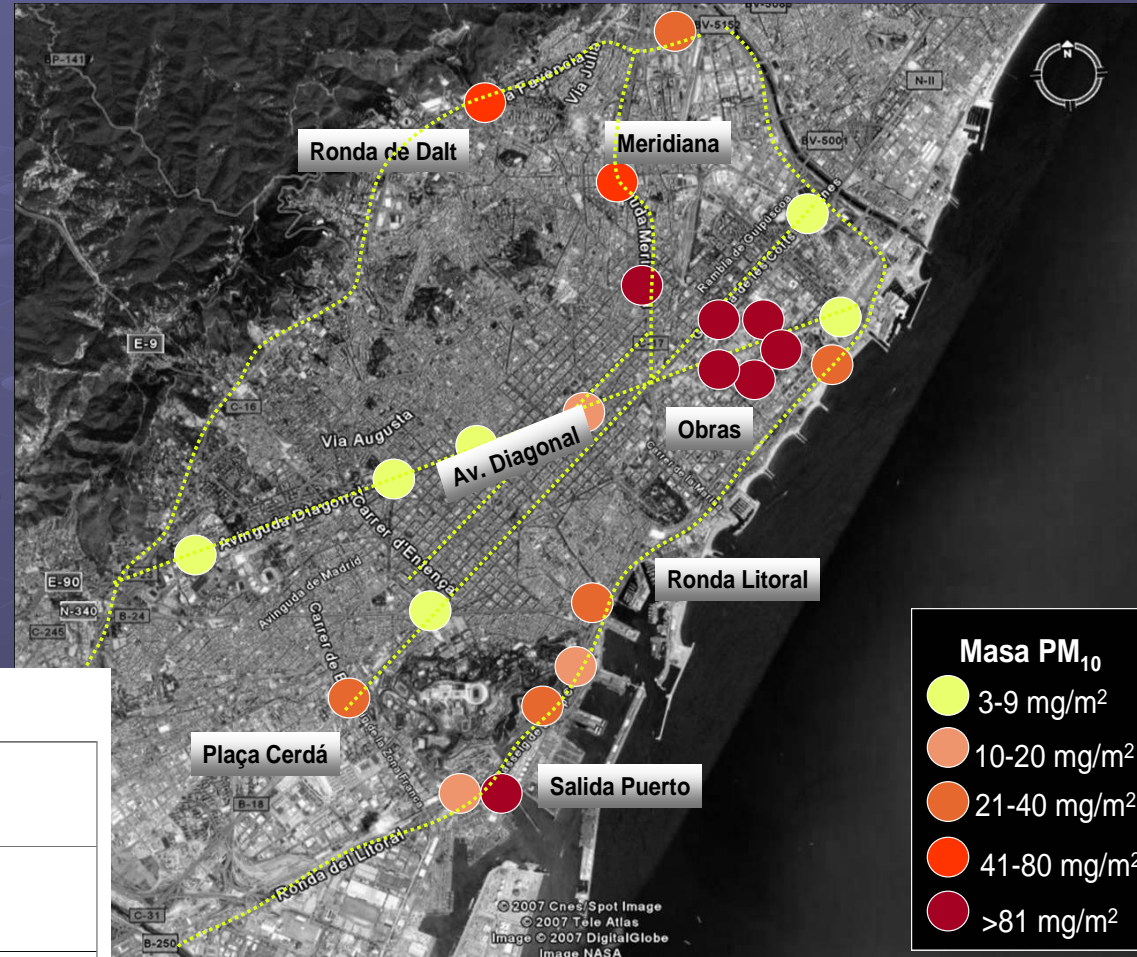


Daily limit value PM₁₀
1999/30/EC (50 µg m⁻³)

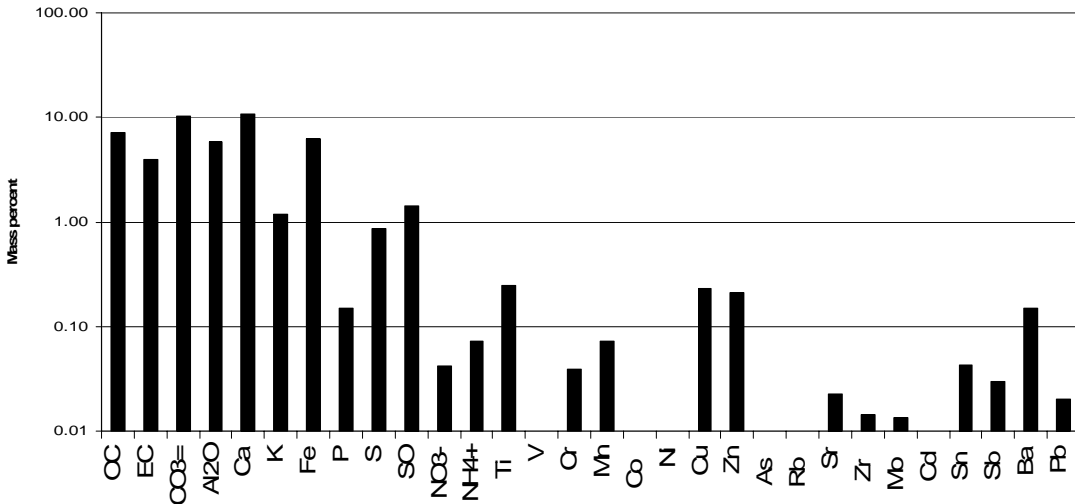
61 out of 69 exceedances
registered in 12 years are caused
by African dust outbreaks

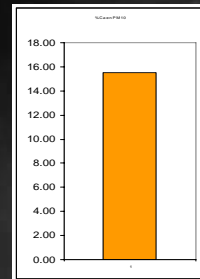
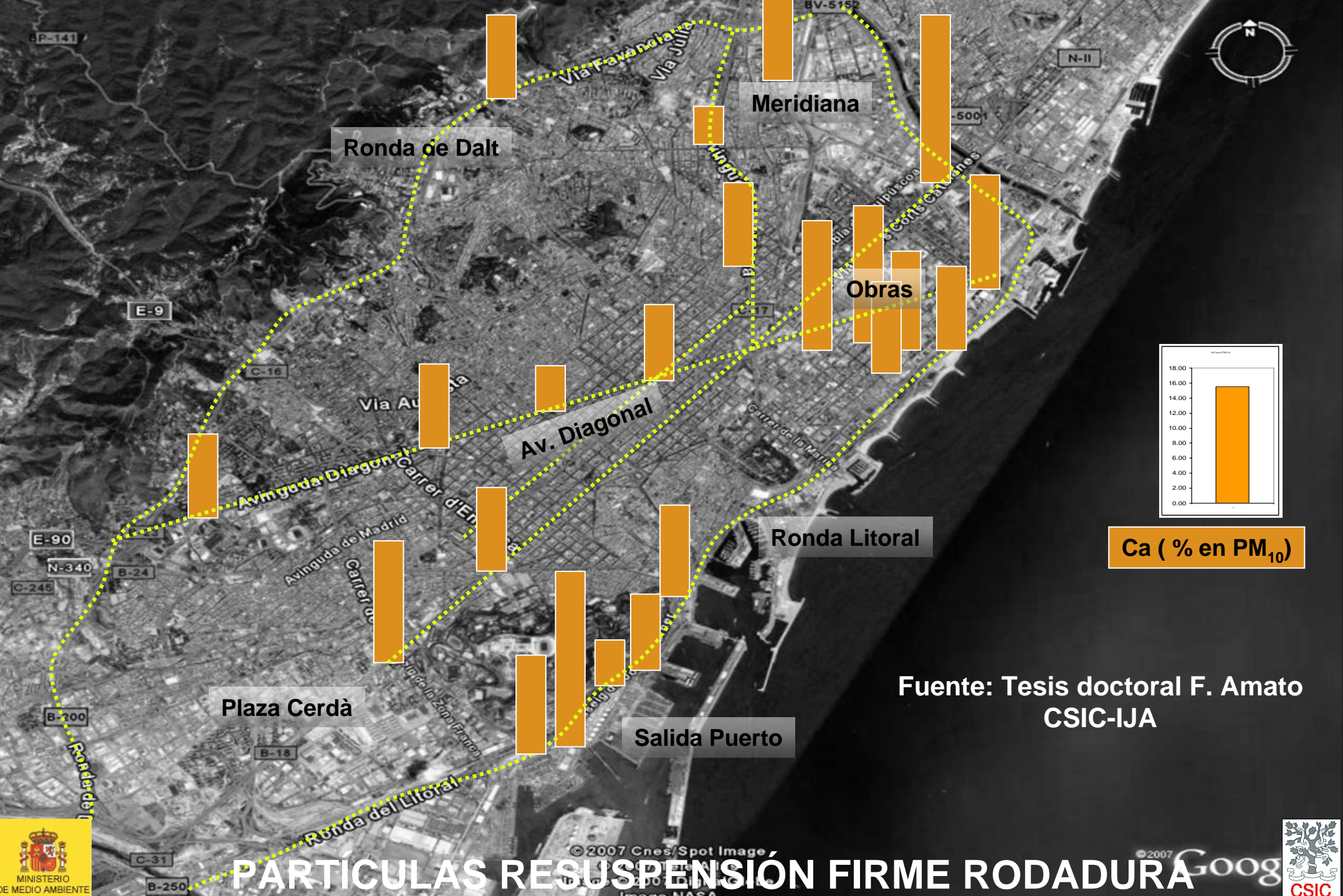
Agradecimiento a ENDESA-Teruel
por facilitarnos periódicamente los datos de Monagrega

PARTÍCULAS RESUSPENSIÓN FIRME RODADURA



Centre City C4





Ca (% en PM₁₀)

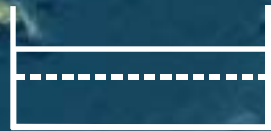
Fuente: Tesis doctoral F. Amato
CSIC-IJA

PARTICULAS RESUSPENSIÓN FIRME RODADURA

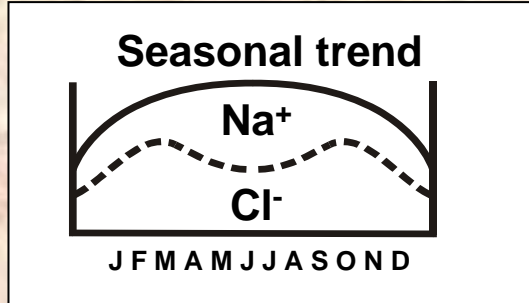




Constant inputs and insolation



Marine aerosol ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PM10



PM10

Crustal

12-25%, 2-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-10) Regional backg.

23-31%, 8-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (15-20) Urban backg.

26-33%, 13-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Traffic-industrial

Areas with high industrial primary PM emiss

EC + OM

10-26%, 2-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Regional backg.

12-32%, 5-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Urban backg.

24-38%, 10-18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Traffic-industrial

Secondary inorganic species

28-36%, 5-8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Regional backg.

20-27%, 6-11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Urban backg.

16-31%, 8-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Industrial

Marine aerosols

1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Iberian Peninsula

2- 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Coastal zones

10-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Canary Islands

Crustal

8-11%, 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

9-17%, 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

12-16%, 4-6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

25 (20) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5 'TARGET value'

EC + OM

22-34%, 2-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Regional backg.

25-45%, 5-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Urban backg.

39-51%, 10-18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Traffic-industrial

Secondary inorganic species

30-35%, 4-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Regional backg.

21-33%, 5-9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Urban backg.

20-38%, 8-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Industrial

Marine aerosols

0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Iberian Peninsula

1-1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Coastal zones

1.5-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Canary Islands

PM2.5

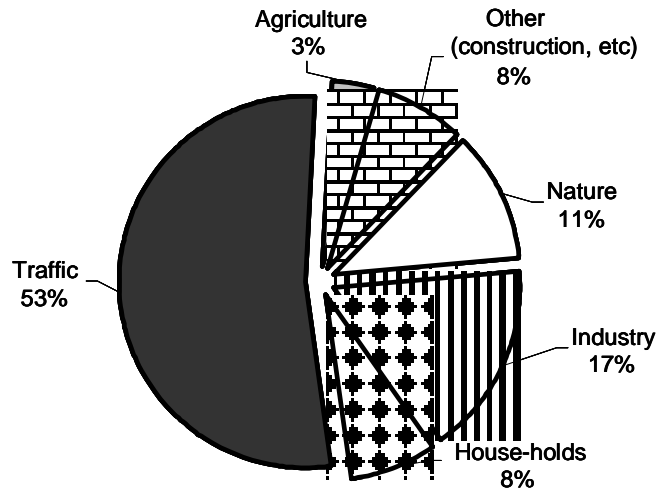
Regional backg.

Urban backg.

Traffic-industrial

PM10 CONTRIBUCIÓN DE FUENTES: MODELO RECEPTOR (PCA-MLR)

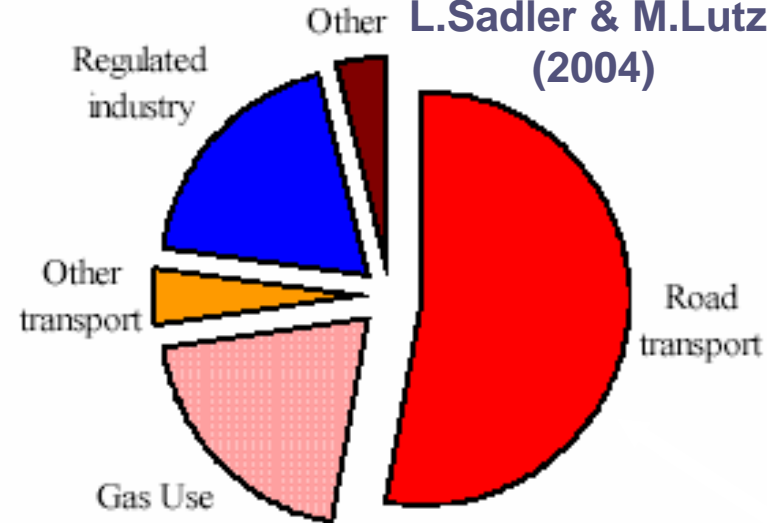
Berlín, Lenschow et al. (2001)



PM10

London

L.Sadler & M.Lutz (2004)



	Mon	Bem	Hue	Alc	Llo	Tarr	Can	MAD	L'Ho	BCN
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$						$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
P									49.5	46.2
n									115	90
T									16.5	14.8
In									9.5	14.0
E									2.0	2.2
M									13.0	14.6
C									8.5	0.3
N									%	%

Tráfico	13	25	33	34	22	30	5	48	33	32
Industrial 1-5	26	17	32	28	34	28	10	18	20	30
Externo							10			
Marino	5	14	5	6	7	9	35	3	4	5
Crustal	26	36	27	31	26	32	33	26	26	32
No determinado	30	8	3	1	11	1	7	5	17	1

□ unaccounted

■ metals

■ OC+EC

■ marine

■ mineral

■ NH4+

■ NO3-

■ nmSO42-

PM10/PM2.5

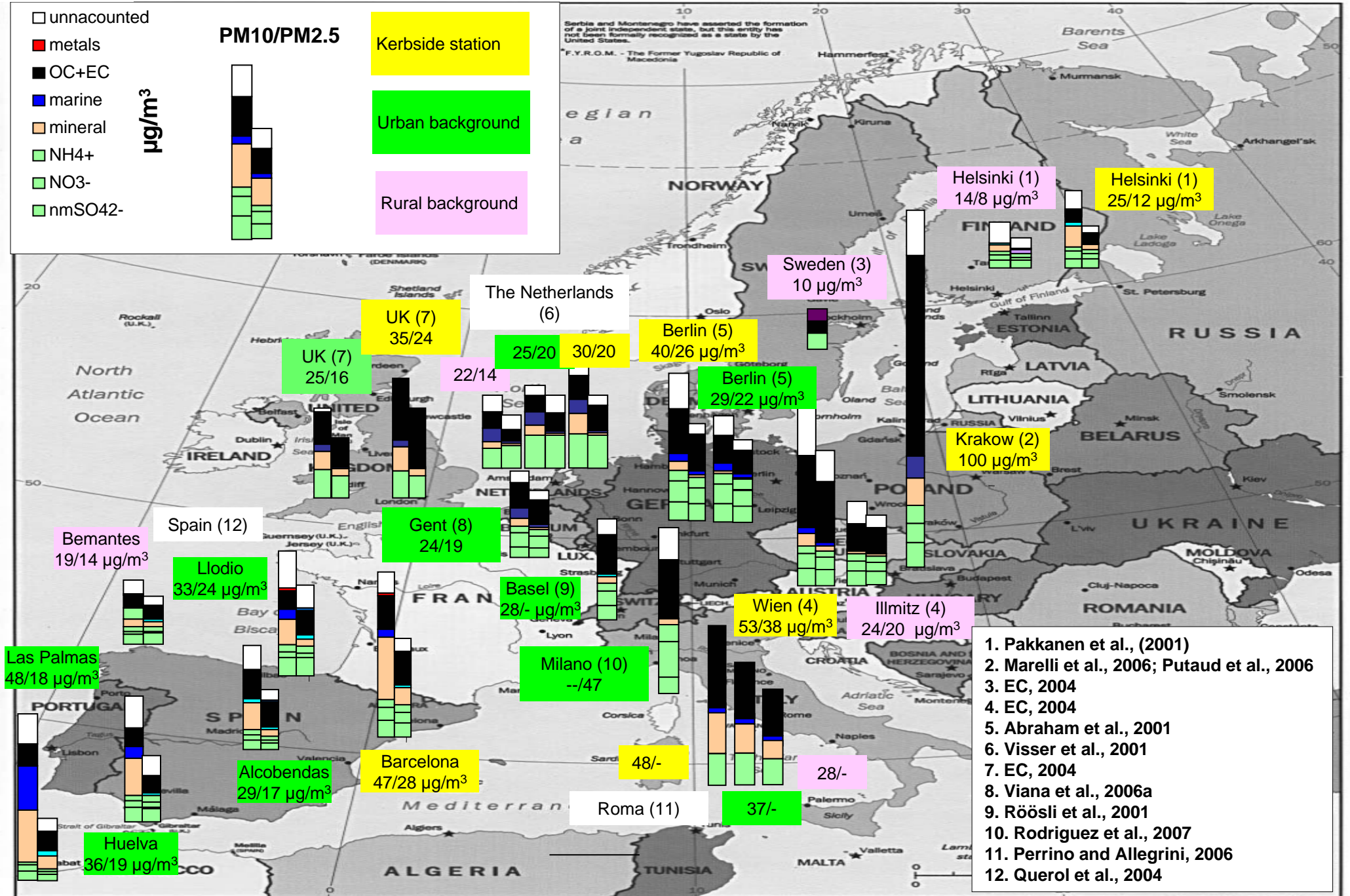
µg/m³



Kerbside station

Urban background

Rural background



Bemantes
19/14 µg/m³

Spain (12)

Llodio
33/24 µg/m³

Las Palmas
48/18 µg/m³

Alcobendas
29/17 µg/m³

Huelva
36/19 µg/m³

Barcelona
47/28 µg/m³

Basel (9)
28/- µg/m³

Milano (10)
-/47

Roma (11)

48/-

UK (7)
25/16

UK (7)
35/24

22/14

The Netherlands (6)
25/20 30/20

Berlin (5)
40/26 µg/m³

Berlin (5)
29/22 µg/m³

Wien (4)
53/38 µg/m³

Sweden (3)
10 µg/m³

Illmitz (4)
24/20 µg/m³

Helsinki (1)
14/8 µg/m³

Helsinki (1)
25/12 µg/m³

Krakov (2)
100 µg/m³

1. Pakkanen et al., (2001)
2. Marelli et al., 2006; Putaud et al., 2006
3. EC, 2004
4. EC, 2004
5. Abraham et al., 2001
6. Visser et al., 2001
7. EC, 2004
8. Viana et al., 2006a
9. Rösli et al., 2001
10. Rodriguez et al., 2007
11. Perrino and Allegrini, 2006
12. Querol et al., 2004

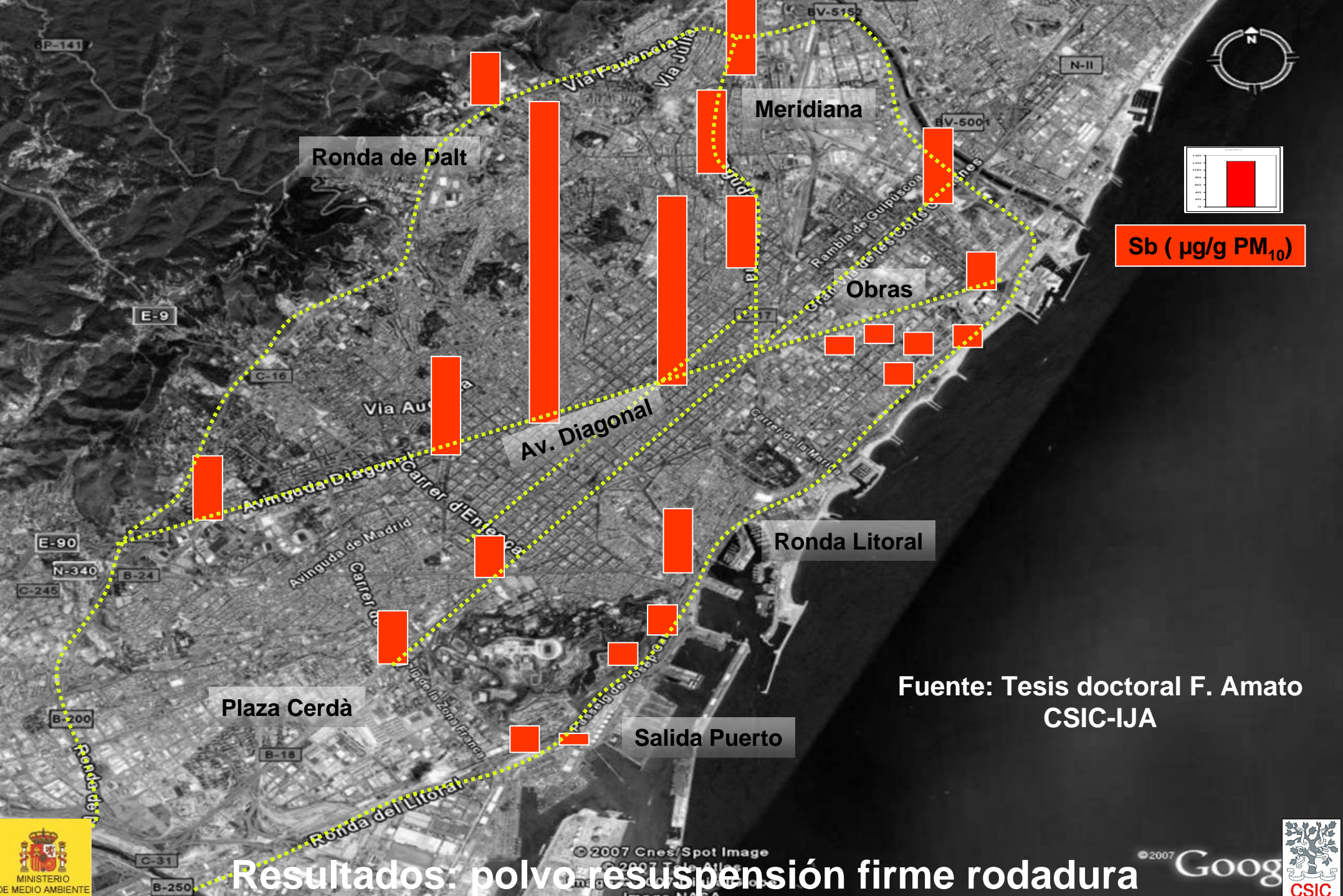
ng/m ³	Fondo rural	
	min	max
Li	0.1	0.3
Be	0.01	0.02
Sc	0.1	0.1
Ti	7	22
V	2	5
Cr	1	2
Mn	5	5
Co	0.1	0.1
Ni	2	3
Cu	4	8
Zn	16	30
Ga	0.1	0.2
Ge	0.1	0.3
As	0.3	0.4
Se	0.3	0.5
Rb	0.5	0.6
Sr	1	5
Y	0.1	0.1
Zr	4	4
Nb	0.04	0.1
Mo	2	3
Cd	0.2	0.2
Sn	1	2
Sb	0.6	0.6
Cs	0.01	0.04
Ba	5	11
La	0.1	0.2
Ce	0.2	0.4
Pr	0.1	0.1
Hf	0.1	0.2
W	0.01	0.03
Tl	0.1	0.1
Pb	5	10
Bi	0.1	0.1
Th	0.1	0.2
U	0.1	0.2

**Niveles medios anuales
elementos traza
en PM10
37 emplazamientos
en España
1999-2007
(ng/m³)**

Valores objetivo
As 6 ng/m³
Cd 5 ng/m³
Ni 20 ng/m³

Valor límite
Pb 500 ng/m³

Valores guía OMS
Mn 150 ng/m³ anual
V 1000 ng/m³ diario



Resultados: polvo resuspensión firme rodadura

Fuente: Tesis doctoral F. Amato
CSIC-IJA

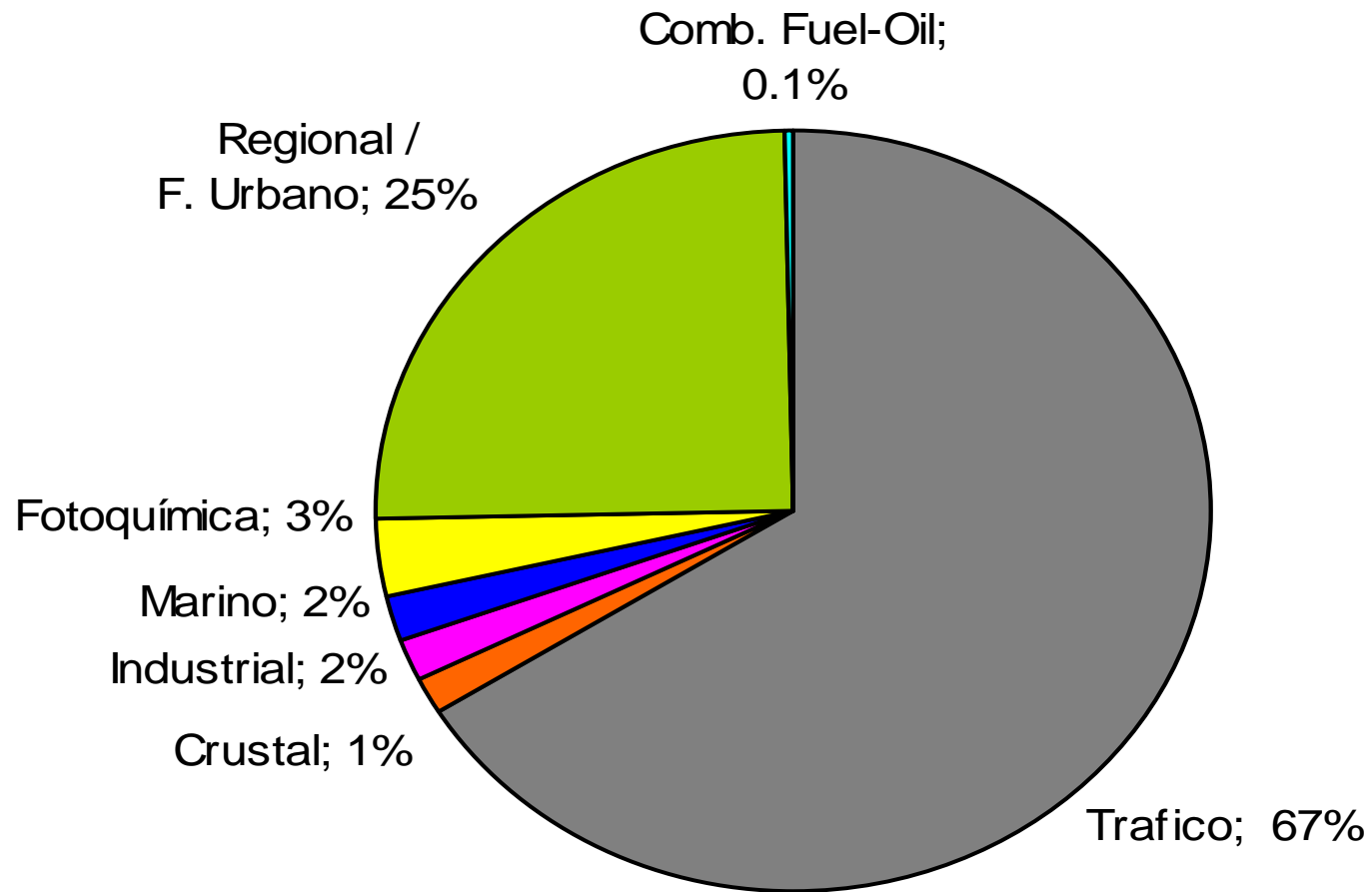


© 2007 Cnes/Spot Image

© 2007 Google

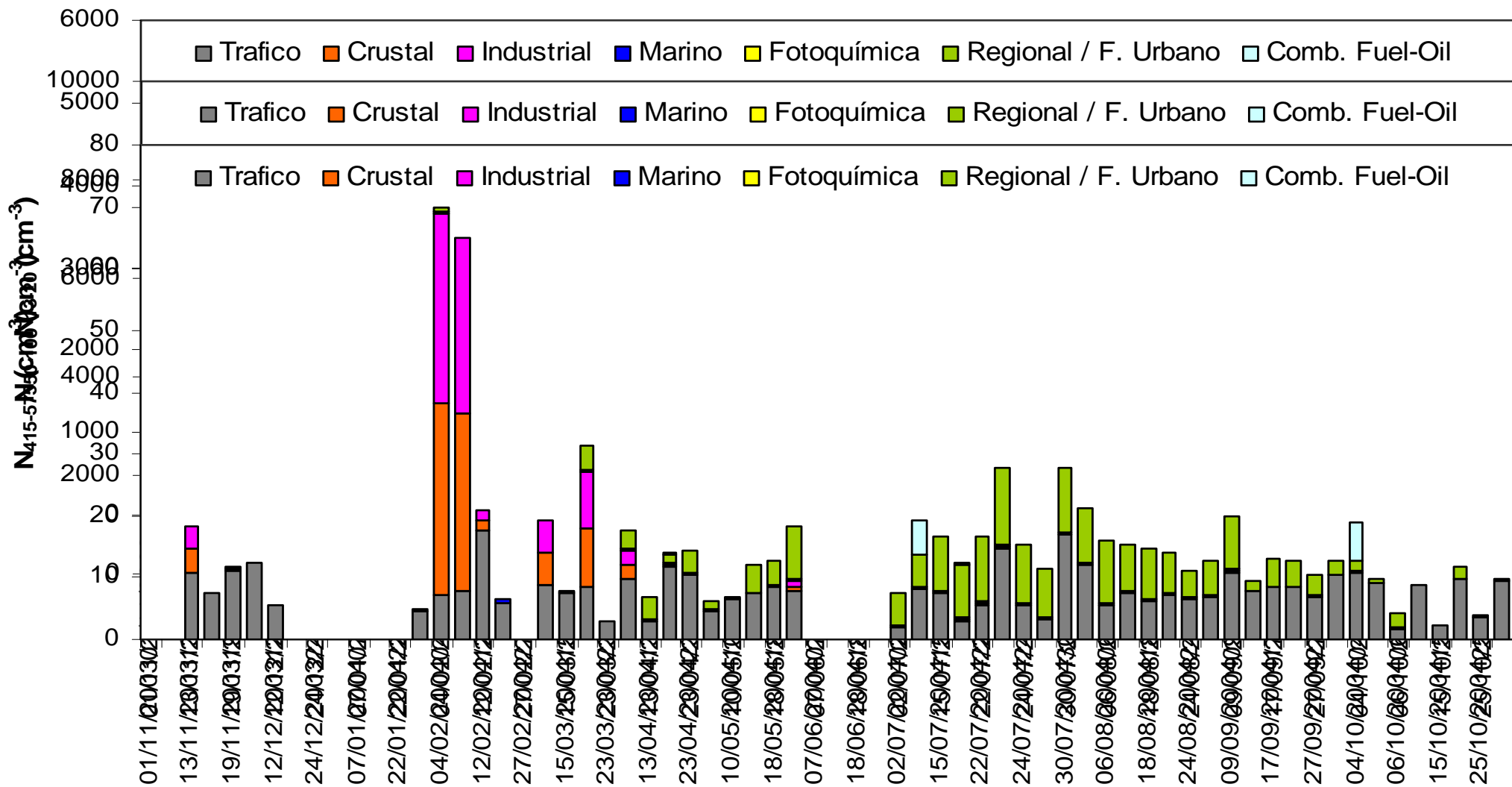


Contribución media de las fuentes a N_{13-800}



Fuente: Tesis doctoral J.Pey
CSIC-IJA

CONTRIBUCIÓN DE FUENTES AL NÚMERO DE PARTÍCULAS: BARCELONA



Fuente: Tesis doctoral J.Pey
CSIC-IJA

MEDIDAS TECNOLÓGICAS: a) **tráfico rodado**, b) industria, c) otras:

Objetivo: Reducción de emisiones NOx y PM-carbonoso (emisiones motores)

Ejemplo evolución normativa vehículos de DIESEL pasajeros y comerciales ligeros

1992 EURO 1	180 mg PM / km
1996 EURO 2	80 mg PM / km
2000 EURO 3	50 mg PM / km
2005 EURO 4	25 mg PM / km
2008 EURO 5	5 mg PM / km

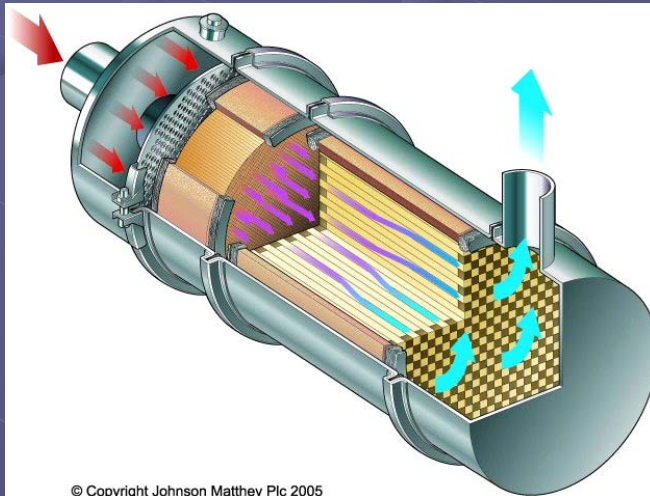
Incremento del parque de vehículos no ha permitido detectar mejoras en calidad del aire

ESTRATEGIAS DE MEJORA DE CALIDAD DEL AIRE EN ZONAS URBANAS (TRÁFICO RODADO)

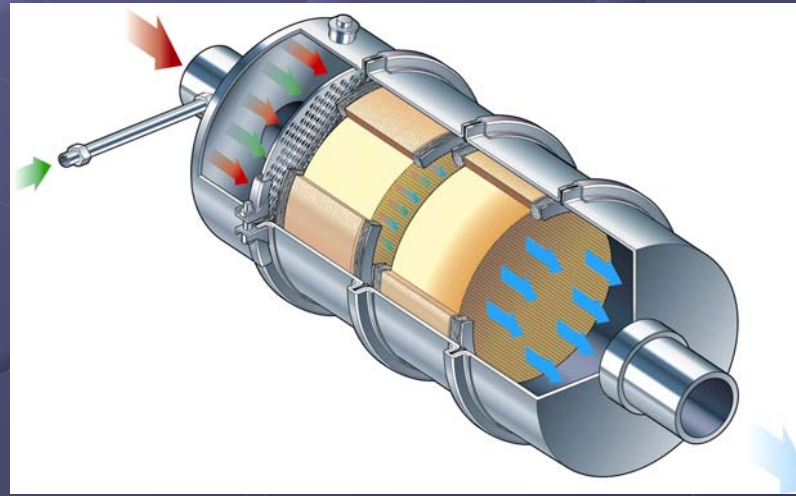


MEDIDAS TECNOLÓGICAS

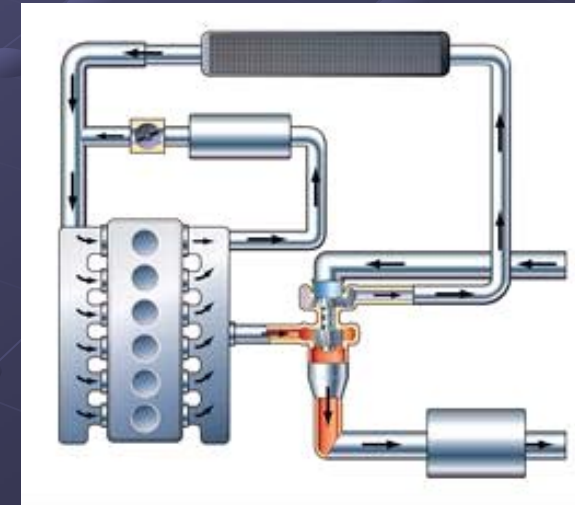
- Nuevos vehículos: eléctricos, híbridos, gas, hidrógeno
- Nuevos motores: EGR, inyección de combustible a alta presión, optimización combustión
- Calidad del combustible y lubricantes: gasolina, diesel, contenido en S, gas natural, bio-combustibles, metales en lubricantes (ZnO lubricante diesel)
- Post-tratamiento de gases:
 - Sistemas OC, SRC, L-NOxC,
 - Filtros de PM, tipo CRT, (SRCRT), FAP
 - Combinación de sistemas EGR-FP-SRC (ej. Toyota DPNR)



© Copyright Johnson Matthey Plc 2005



(Johnson Matthey copyright)



**La tecnología actual y no permite reducir PM y metales de abrasión frenos, ruedas y pavimento:
Son NECESARIAS soluciones NO TECNOLÓGICAS**

LAS MEDIDAS NO TECNOLÓGICAS

Medidas con impacto a corto plazo: Restringir el volumen de tráfico

- Impedir acceso a zonas céntricas a determinados vehículos (ej. diesel anteriores a EURO2)
- Prohibiciones temporales circulación vehículos privados en zonas céntricas (ej. fines de semana o días de alerta).
- Limitación de la velocidad de circulación 120 a 80 km/h (porco efectivo 50 a 30 km/h)
- Sistemas complejos de gestión del flujo de tráfico (calidad aire-volumen tráfico)
- Optimización del flujo de tráfico (actuación sobre semáforos y reducción de las obstrucciones en las vías): Solamente como medida complementaria ya que incrementar el número de vehículos
- Limpieza del firme de rodadura en vías de tráfico
- Muy poco efectiva prohibición a vehículos según el número de las matrículas pares o impares

LAS MEDIDAS NO TECNOLÓGICAS

Medidas con impacto a medio plazo: Políticas de restricciones y ventajas a los usuarios

- Diseño de estructuras logísticas urbanas con criterios ambientales (ordenación del territorio)
- Definición de 'zonas ambientales' con obligación de reducción progresiva emisiones
- Aplicación peajes y parking disuasorios
- Incentivar medios de transporte más ecológico
- Acondicionamiento del firme de rodadura
- No solución: Circunvalaciones y rondas

OTRAS MEDIDAS SIN RELACIÓN CON EL TRÁFICO

- Demolición, construcción, (transporte material pulverulento)
- Áreas portuarias aplicación MTD
- Emisiones residenciales,.....

CONCLUSIONES



1. Se registran incumplimientos de los valores límite y objetivo de NO₂, PM10 y PM2.5, sobretodo en estaciones de tráfico, aunque existen zonas de fondo industrial que también registran superaciones.
2. El clima de muchas regiones españolas favorece la acumulación de una serie de contaminantes en áreas urbanas, por tanto se han de tomar medidas especiales.
3. Mayoría de ambientes urbanos: Contribuciones directas **del tráfico: 30-48% de PM10** (sin incluir SIA del tráfico). Industrial 15-30%. Aerosol marino natural: 3-5% (z. continentales), 5-10% (costeras), hasta 30-35% (Canarias).
4. Existen *hotspots* industriales aislados con mucha carga industrial (hasta 45% PM10).
5. Fuera de estos núcleos las actuaciones (tecnológicas y no tecnológicas) sobre tráfico rodado son clave para la mejora de calidad del aire, aunque las reducciones de los volúmenes de emisión a escala global sean menos relevantes que las de otros sectores.
6. Valores de emisión cada vez más estrictos para motores diesel nuevos (NO LOS ANTIGUOS), pero sin normativa prevista para emisiones abrasión mecánica (frenos, ruedas, firme,...) tan importantes como las de los motores.
7. Emisiones de resuspensión y demolición, focos muy importantes de PM en ciudades.

Agradecimientos: Gobierno Vasco, Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Educación y Ciencia. CCAA: Andalucía, Baleares, Canarias, Cantabria, Castilla-León, Castilla la Mancha, Catalunya, Euskadi, Extremadura, Galicia, Madrid, Melilla, Murcia, Valencia, Ayuntamiento Madrid, ENDESA

Gracias por su atención .

xavier.querol@ija.csic.es