

Sistemas de reducción de partículas para buses de Transantiago

Néstor Y. Rojas

Profesor Asistente

Departamento de Ingeniería Química

Universidad de Los Andes

Resumen

- ◆ Evolución de la contaminación del aire en Santiago
- ◆ Filtros de partículas para Transantiago
- ◆ Algunos factores clave
 - Caracterización del material particulado
 - Centro de Certificación y Control Vehicular (3CV)
 - Fiscalización
 - Mejoramiento de combustibles

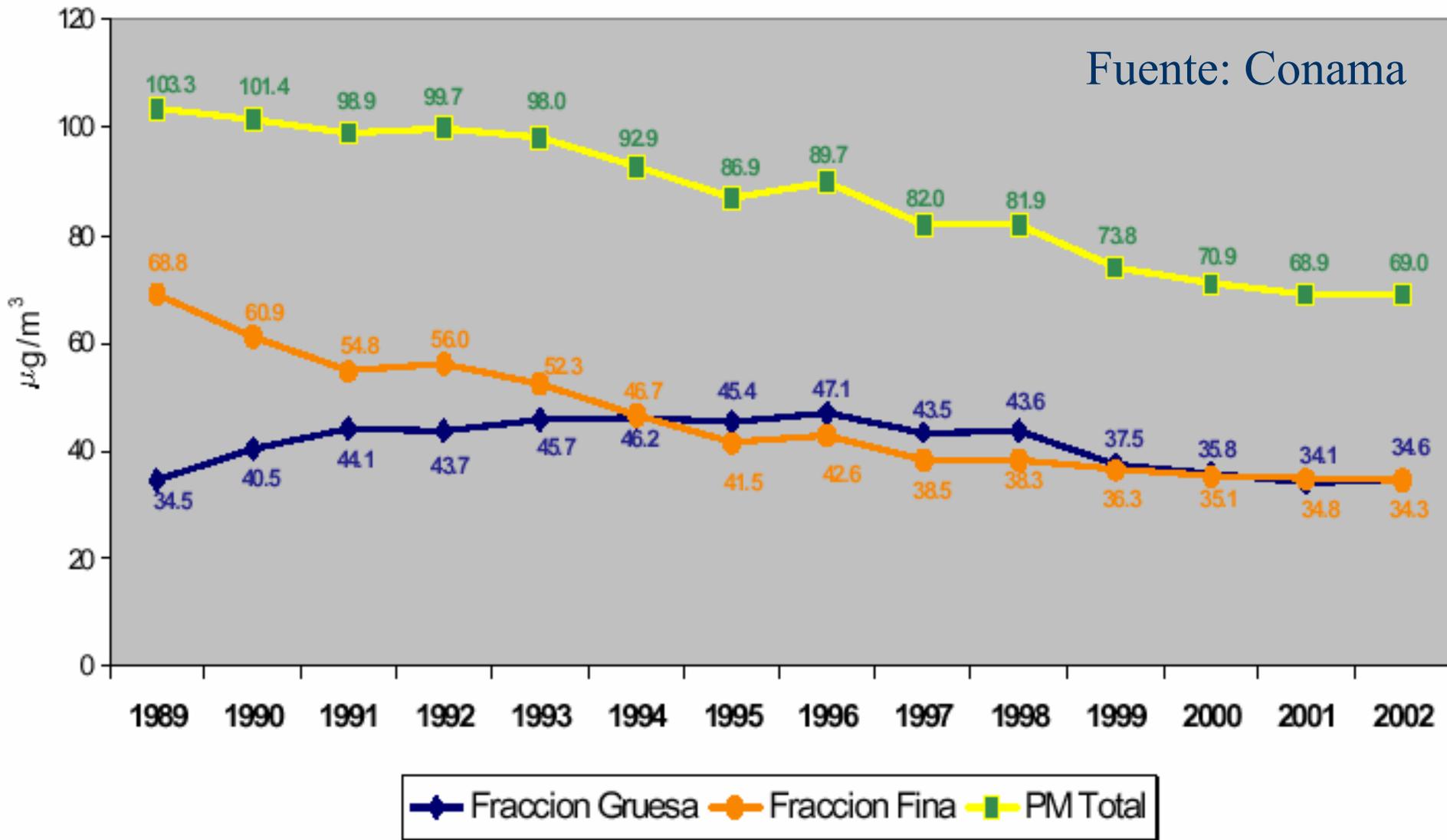
Evolución de la calidad del aire en Santiago de Chile



Foto: N.Y. Rojas

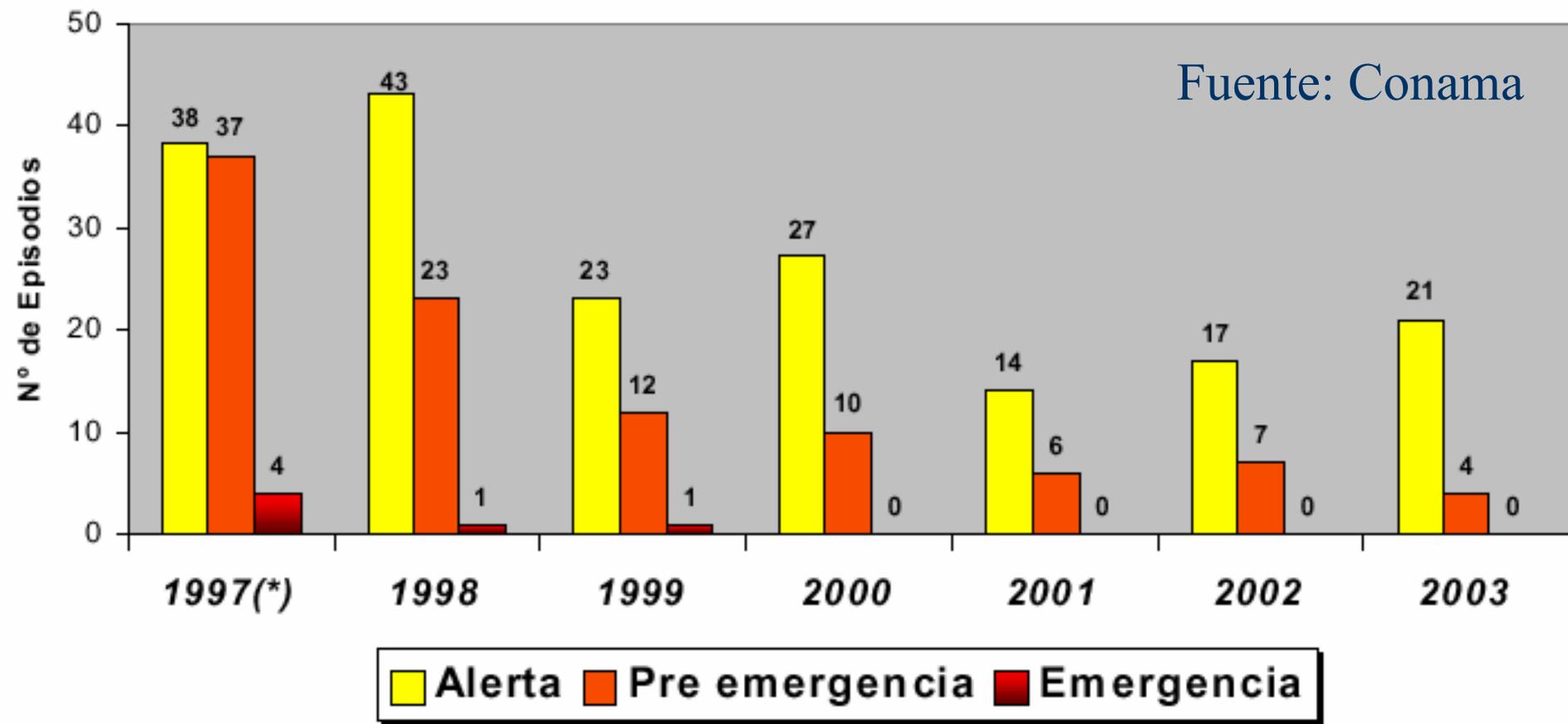
Evolución del Material Particulado Respirable, Fracciones Fina, Gruesa y Total Estaciones Históricas Red Macam1 (1989-2002)

Fuente: Conama



Tipo de Episodios Constatados (1997-2003)

Fuente: Conama



Avances (CONAMA RM)

- ◆ Se ha reducido en forma importante el problema de monóxido de carbono
- ◆ Se está avanzando en la reducción del problema de material particulado
- ◆ Se está avanzando en la reducción de los dióxidos de azufre
- ◆ El problema de ozono está, en el mejor de los casos, estancado

Responsabilidad de las fuentes: Monóxido de Carbono

Lo positivo

- ◆ Reducción en la circulación de vehículos sin convertidor
- ◆ Introducción de autos catalíticos
 - el aumento del parque no ha estado acompañado del aumento de este contaminante

Responsabilidad de las fuentes: Material particulado

Lo positivo

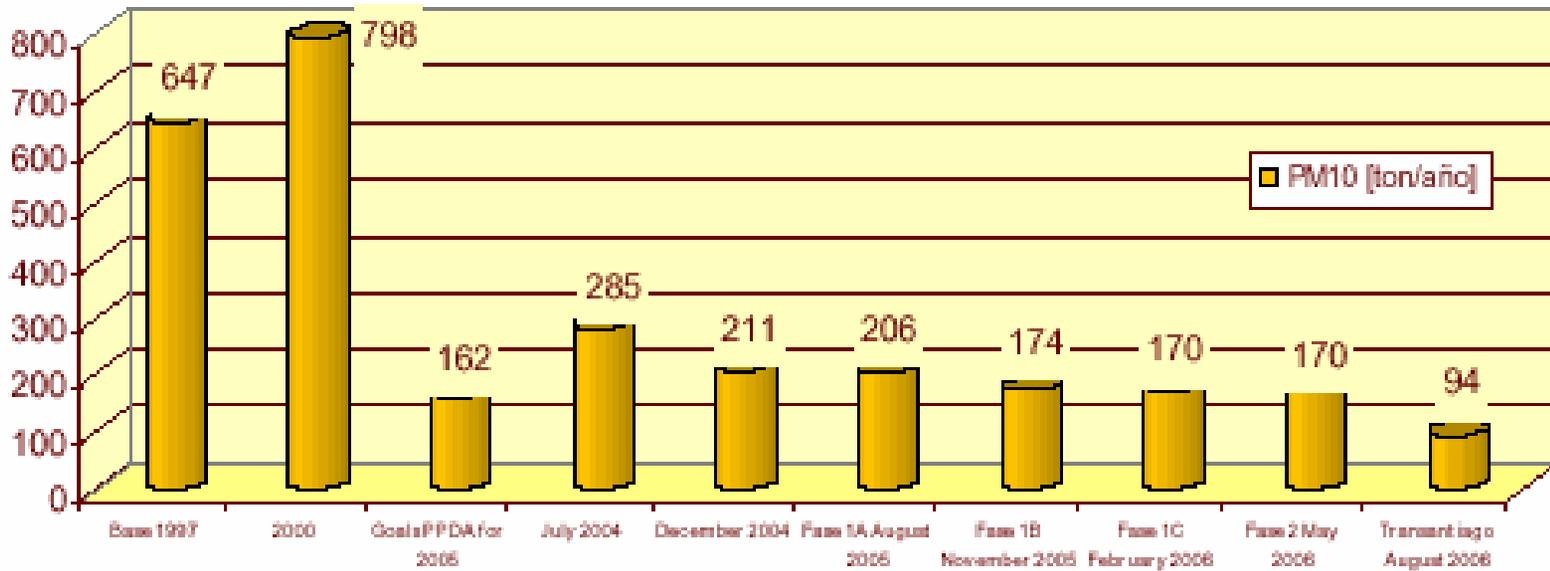
- ◆ El retiro de buses muy antiguos y la disminución del total de buses
- ◆ Uso de GNC en la industria
- ◆ Reducción del contenido de azufre en el diesel

Lo negativo

- ◆ Proliferación de vehículos livianos diesel
- ◆ Falta de regulación del parque de camiones
- ◆ Aumento de transporte privado y falta de control de autos catalíticos antiguos

Emisiones de material particulado por buses

Emisiones PM10



Responsabilidad de las fuentes: Ozono

Lo positivo

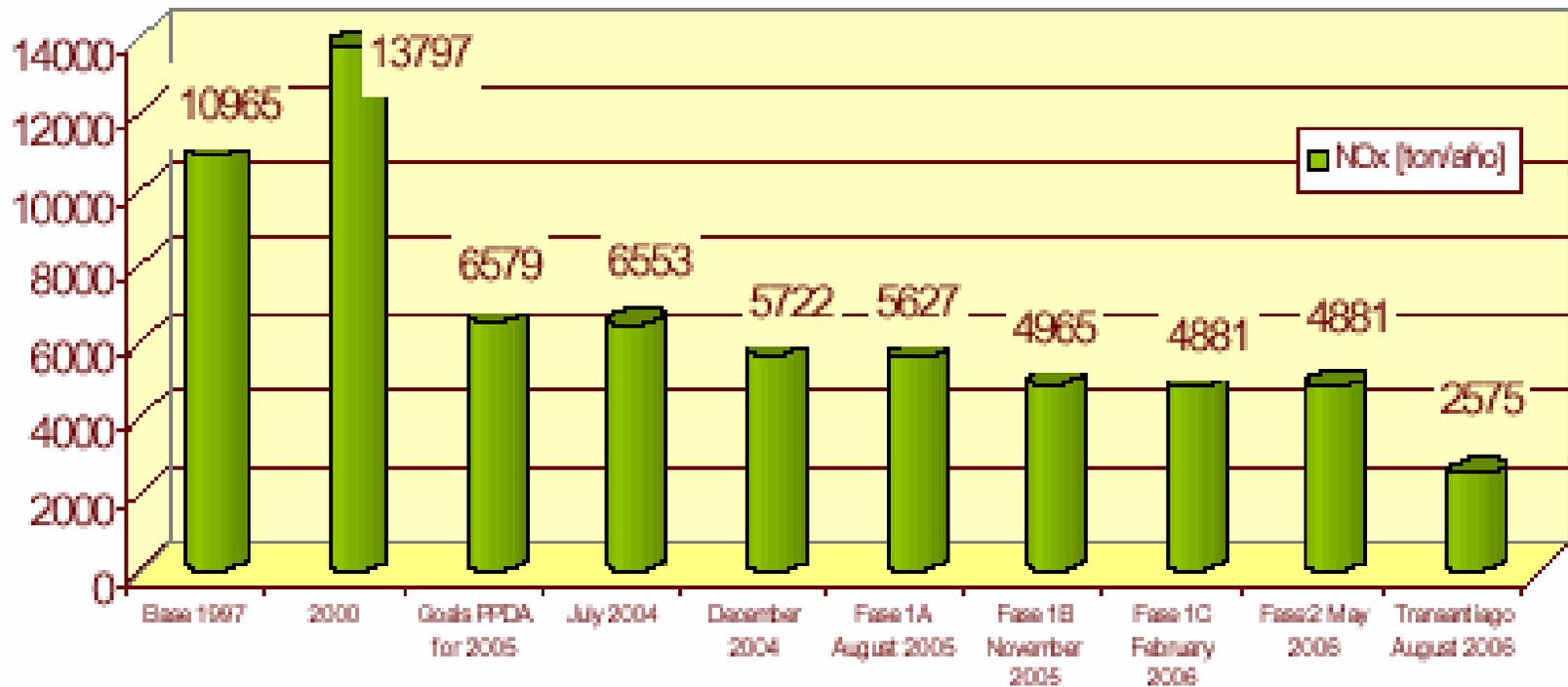
- ◆ Reducción en la circulación de vehículos sin convertidor
- ◆ Introducción de autos catalíticos
- ◆ Introducción de gasolinas menos reactivas

Lo negativo

- ◆ Aumento del número de vehículos privados
- ◆ Falta de regulación de autos catalíticos antiguos
- ◆ Falta de regulación del parque de camiones

Emisiones de NOx por buses

Emisiones NOx



Responsabilidad de las fuentes: Óxidos de azufre

Lo positivo

- ◆ introducción de diesel de 50 ppm S y gasolina de 30 ppm S
- ◆ Introducción de GNC en la industria y uso de diesel ciudad de 300 ppm
- ◆ Programa de reducción de dióxidos de azufre en mayores emisores en la industria

Lo negativo

- ◆ Aumento del número de vehículos privados
- ◆ Falta de regulación de autos catalíticos antiguos
- ◆ Falta de regulación del parque de camiones

Resumen de avances

	Hace 10 años	Ahora
Buses	14000 buses, 15 años promedio	7500 buses, 5 años promedio
Diesel	5000 ppm S	50 ppm S
Gasolina	Con plomo	Sin plomo
Vehículos	100% sin catalizador	20% sin catalizador 80% con catalizador
Industria	Leña, carbón, petróleos pesados	Gas natural y diesel ciudad (300 ppm S)
Generación eléctrica	Carbón	Gas natural

Filtros de partículas para Trasantiago

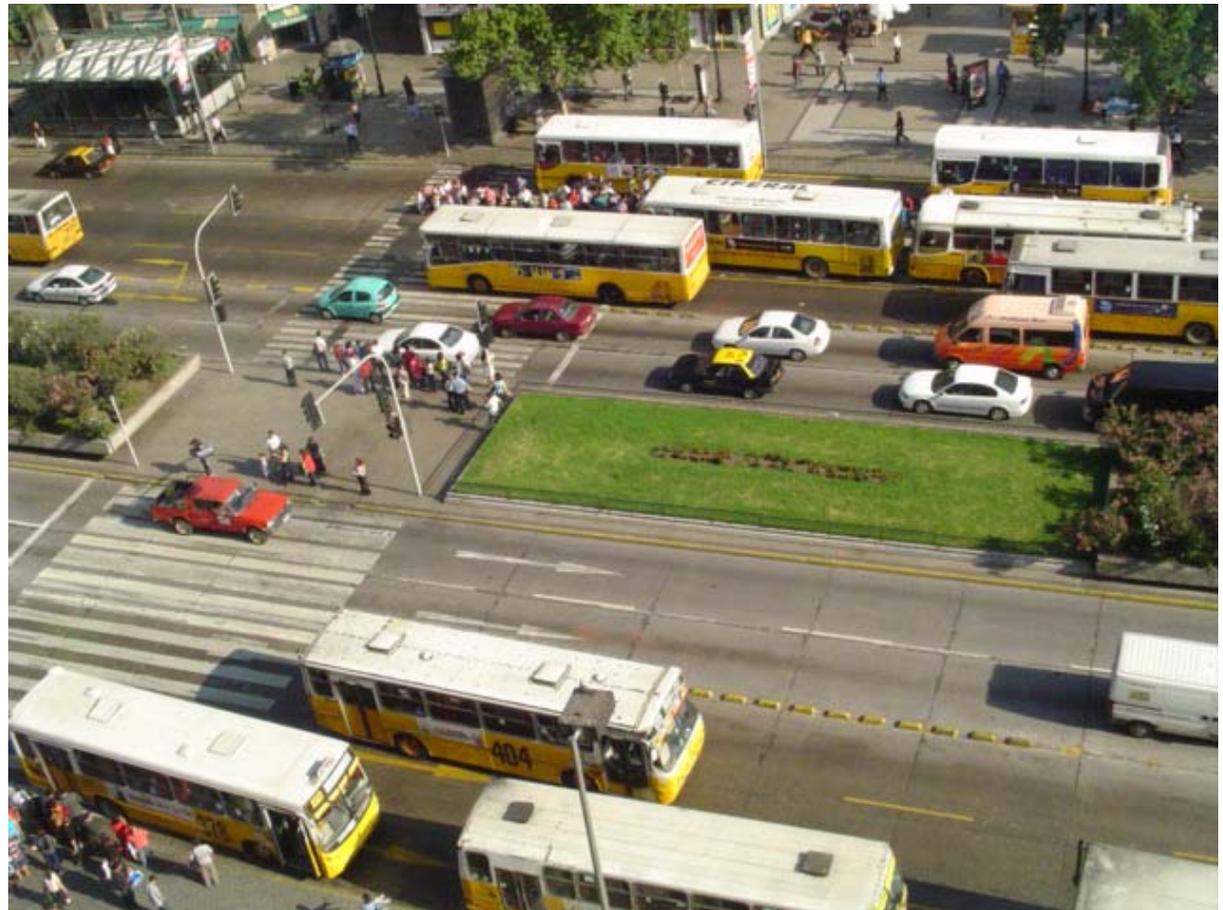


Foto: N.Y. Rojas

Problemas del material particulado

- ◆ Efectos sobre la salud probados
 - Carcinogénico (OMS, 1989)
 - Epidemiológicos
 - aumento del 1% en mortalidad por aumento en $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 (varias fuentes)
 - aumento de por lo menos 8% en visitas por enfermedad respiratoria por aumento en $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 en Bogotá (Solarte, 1999)
 - Toxicológicos
 - Nanopartículas causantes de irritación e inflamación alveolar
 - Nanopartículas causan efectos tóxicos por su tamaño (Oberdorster, Seaton)
 - Nanopartículas son fagocitadas y entran al torrente sanguíneo, con potenciales efectos sobre el sistema cardiovascular

Material particulado

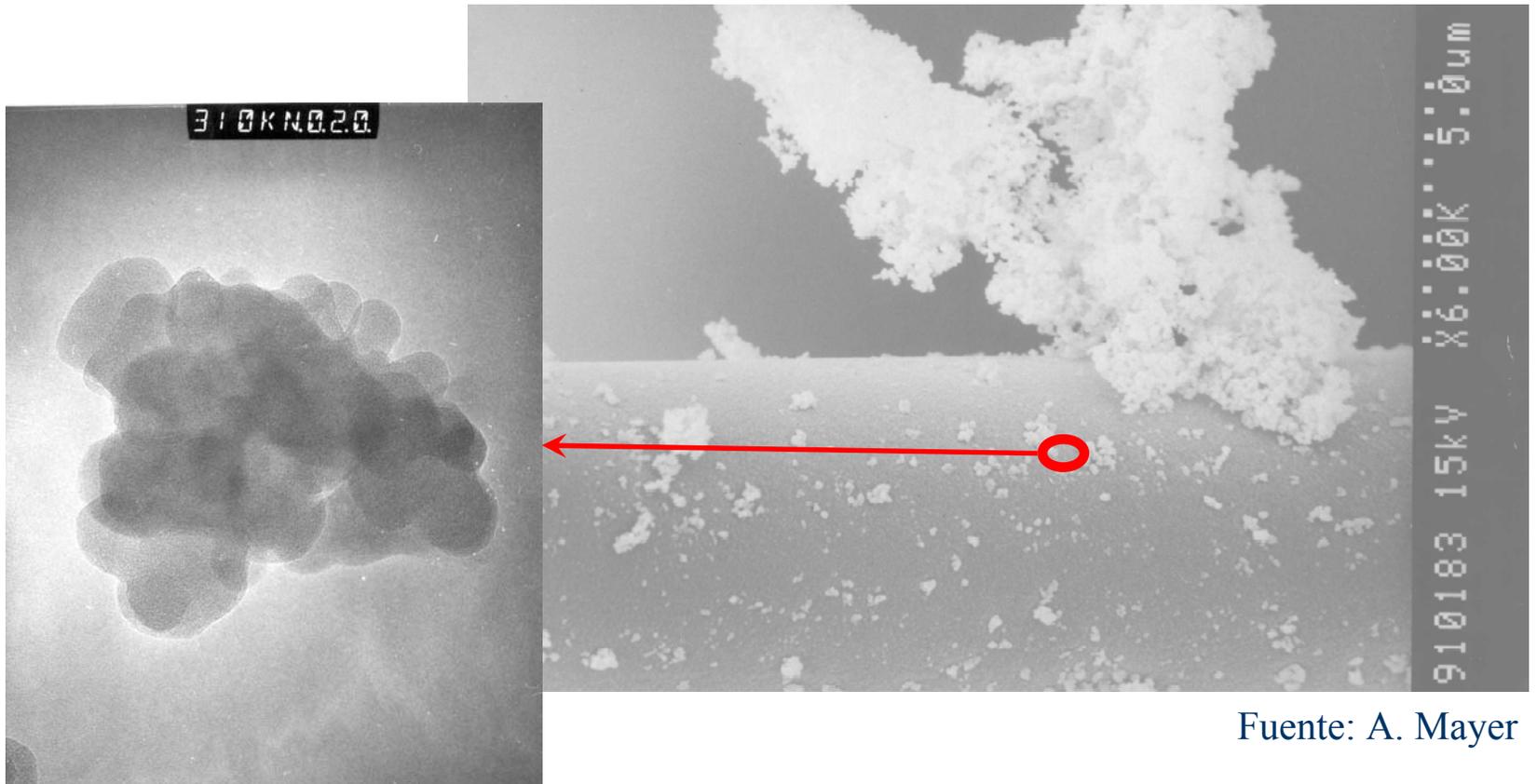


Foto: N.Y. Rojas

Fuente: A. Mayer

Avances tecnológicos en Diesel

- ◆ Mejor combustión: mejor cámara de combustión, inyección a alta presión, EGR, Turbocargado, Interenfriamiento, etc
- ◆ Mejor combustible
- ◆ Dispositivos de post-tratamiento
 - Catalizadores de oxidación (DOC)
 - Filtros de partículas (DPF)

Situación Europea

- ◆ Combustibles muy limpios, <50 ppm S
 - ◆ Alta tecnología de combustión
 - ◆ Buenas prácticas de conducción
 - ◆ Intención de protección a la salud:
Legislación muy estricta
- ⇒ Tecnología de post-tratamiento necesaria

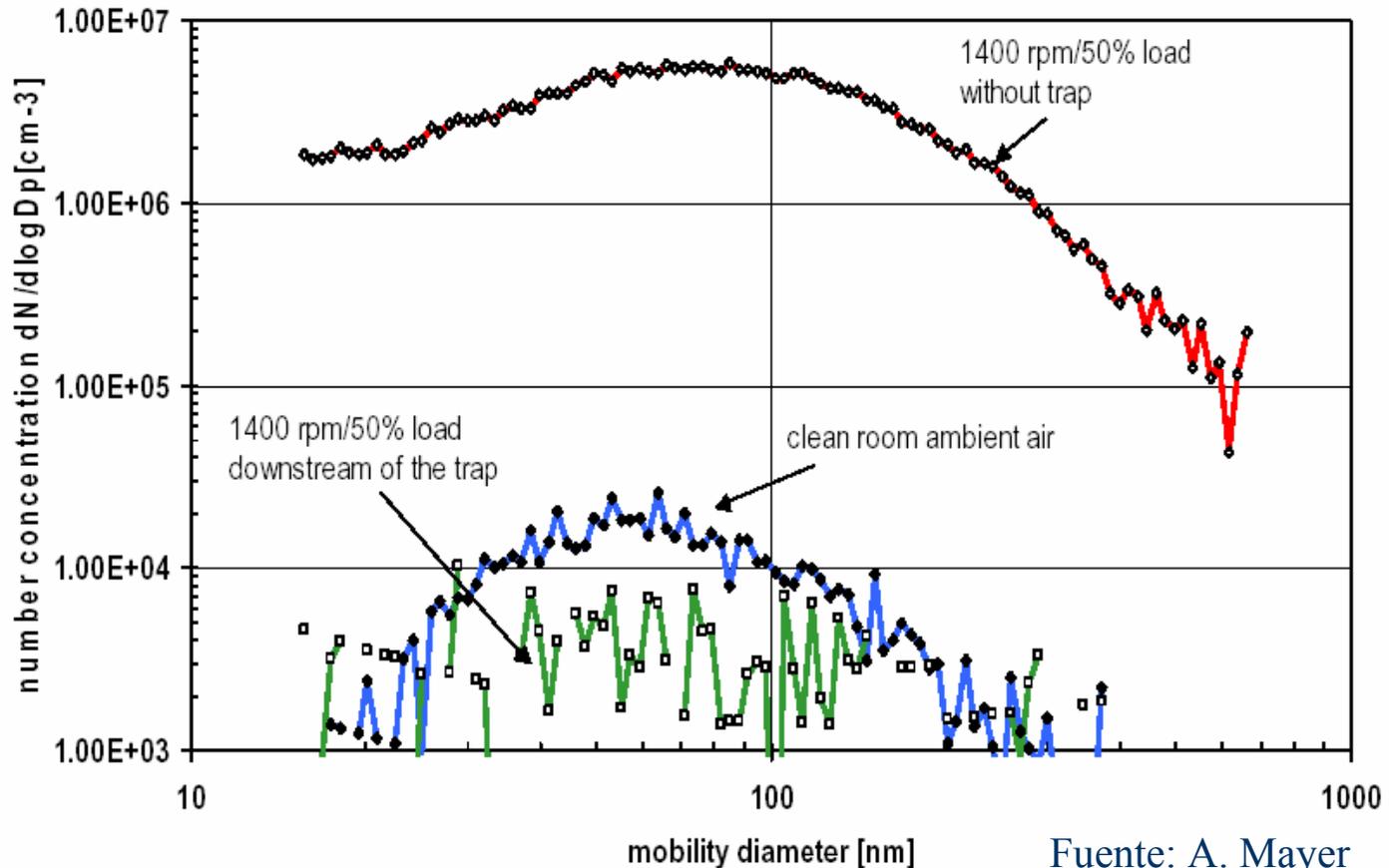
Retrofit de DPFs en el mundo

(Fuente: A. Mayer)

◆ Sweden, environmental zones	8000
◆ Cities	
■ Berlin Y 2000	1000
■ Paris Y 2001	3000
■ New York	2000
■ Zürich Y 2004	500
■ London Y 2004	6000
◆ Forklifts	>40000
◆ Construction machines	10000
◆ Mines	4000
◆ Total worldwide	100000

Material particulado a la salida de los filtros de partículas

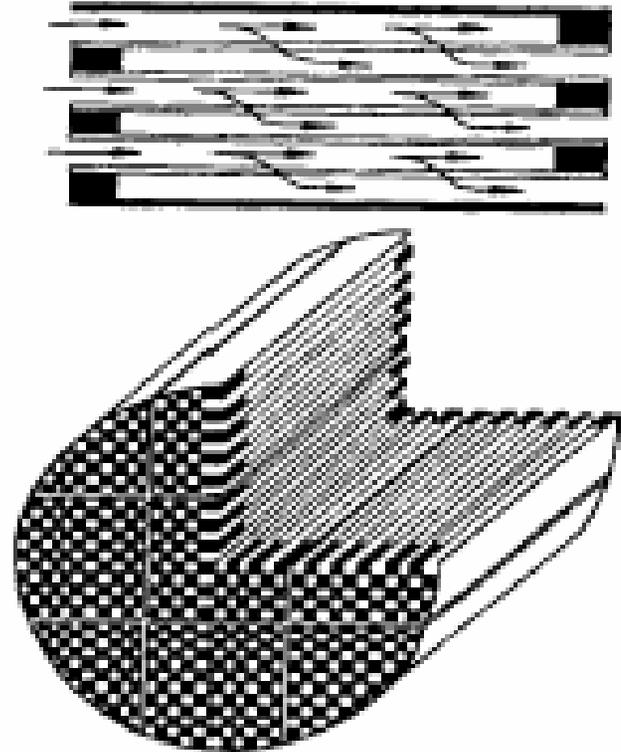
Diesel Emissions with and without Particle Trap
vs. Ambient Air Particle Concentrations



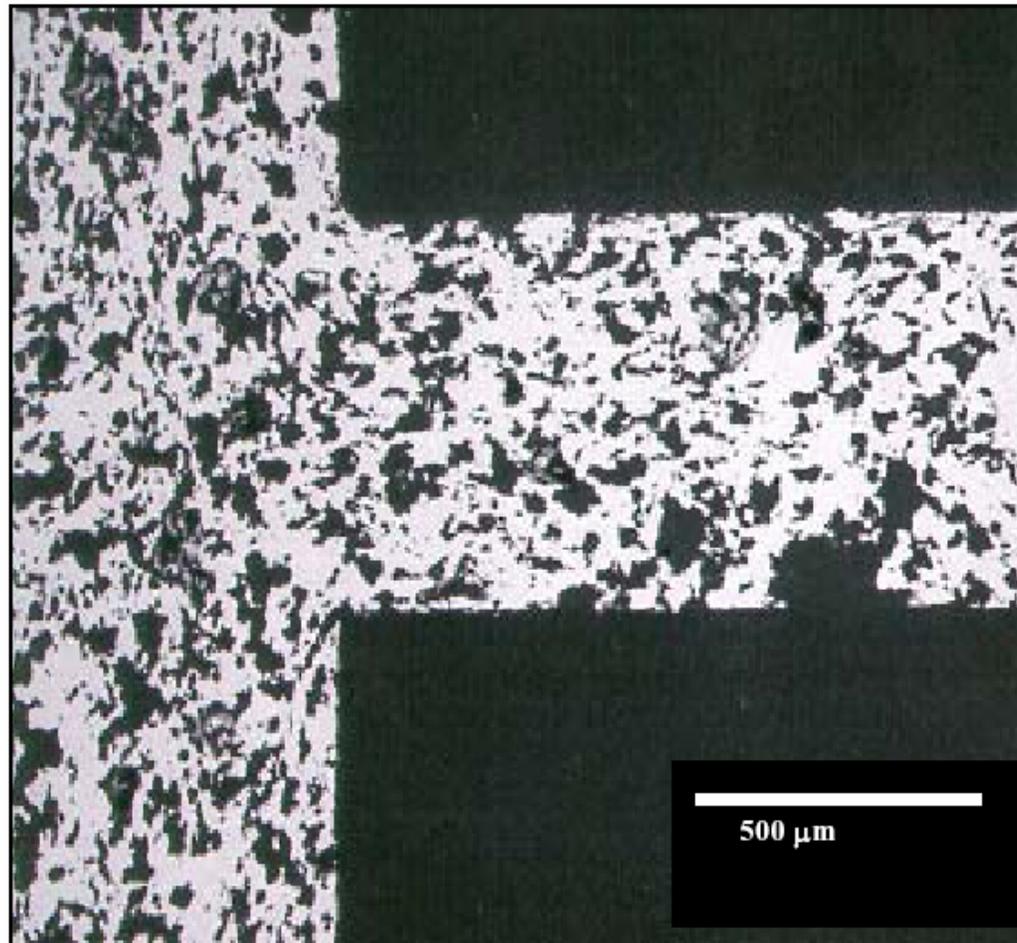
Fuente: A. Mayer

Filtros de partículas

- ◆ Retención del material particulado por filtración, impactación, intercepción y difusión
- ◆ Proporciona condiciones para la combustión del material particulado retenido (regeneración)



Microestructura del filtro: poros de 0.01mm (partículas: 0.0001mm)



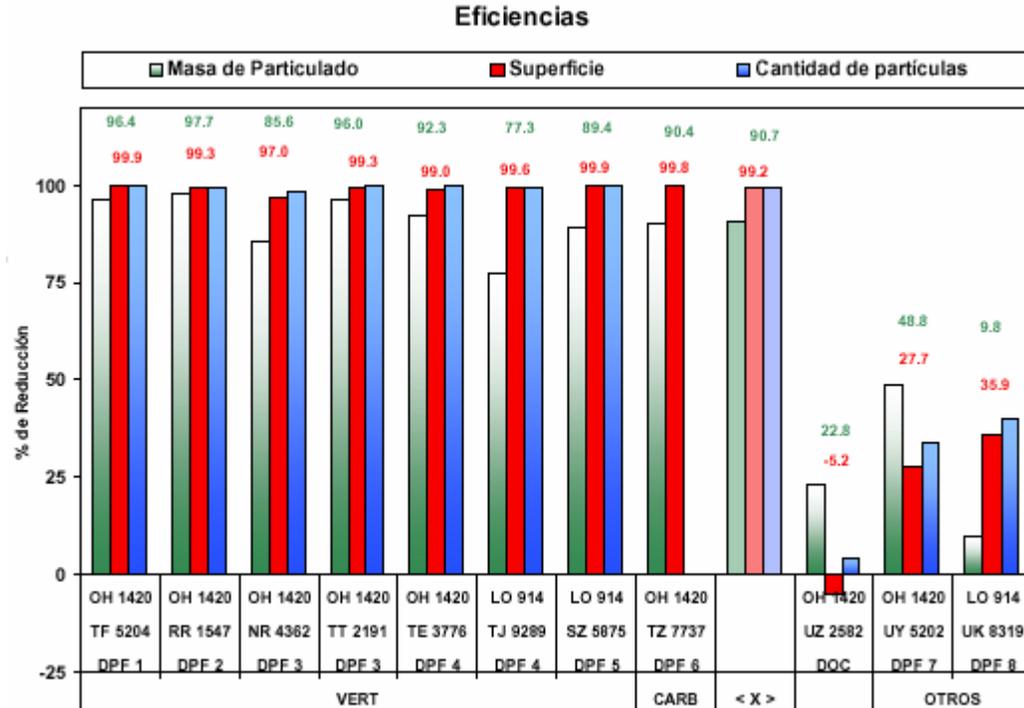
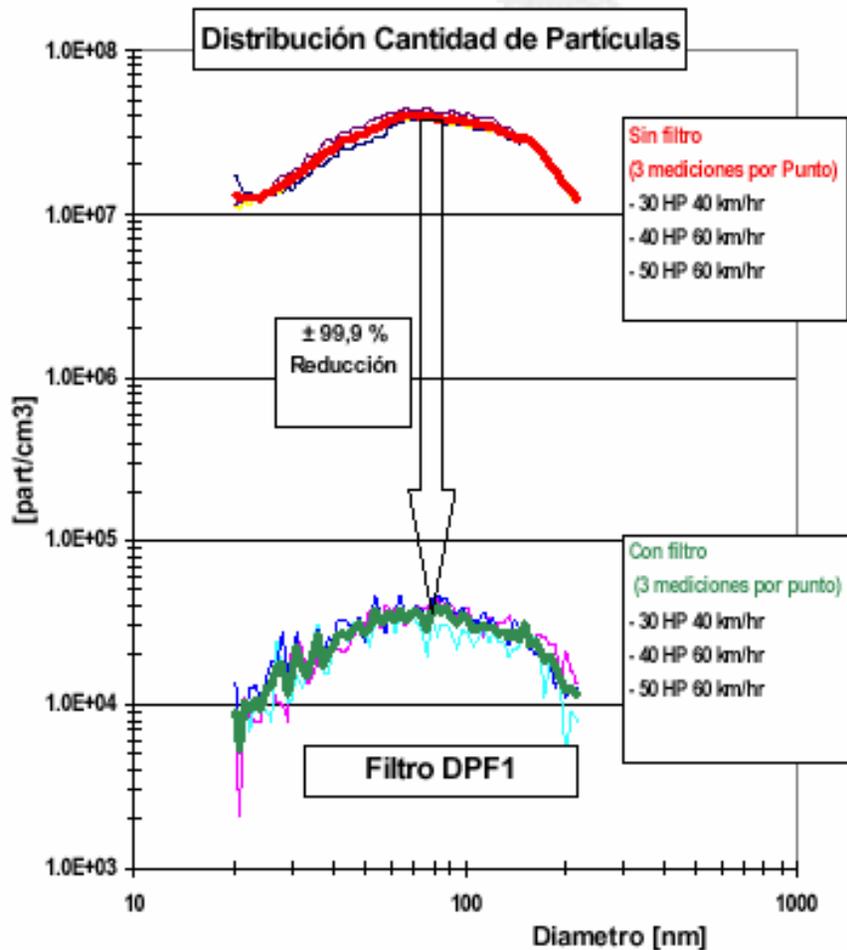
Fuente: A. Mayer

Filtros típicos: cordierita



Fuente: A. Mayer

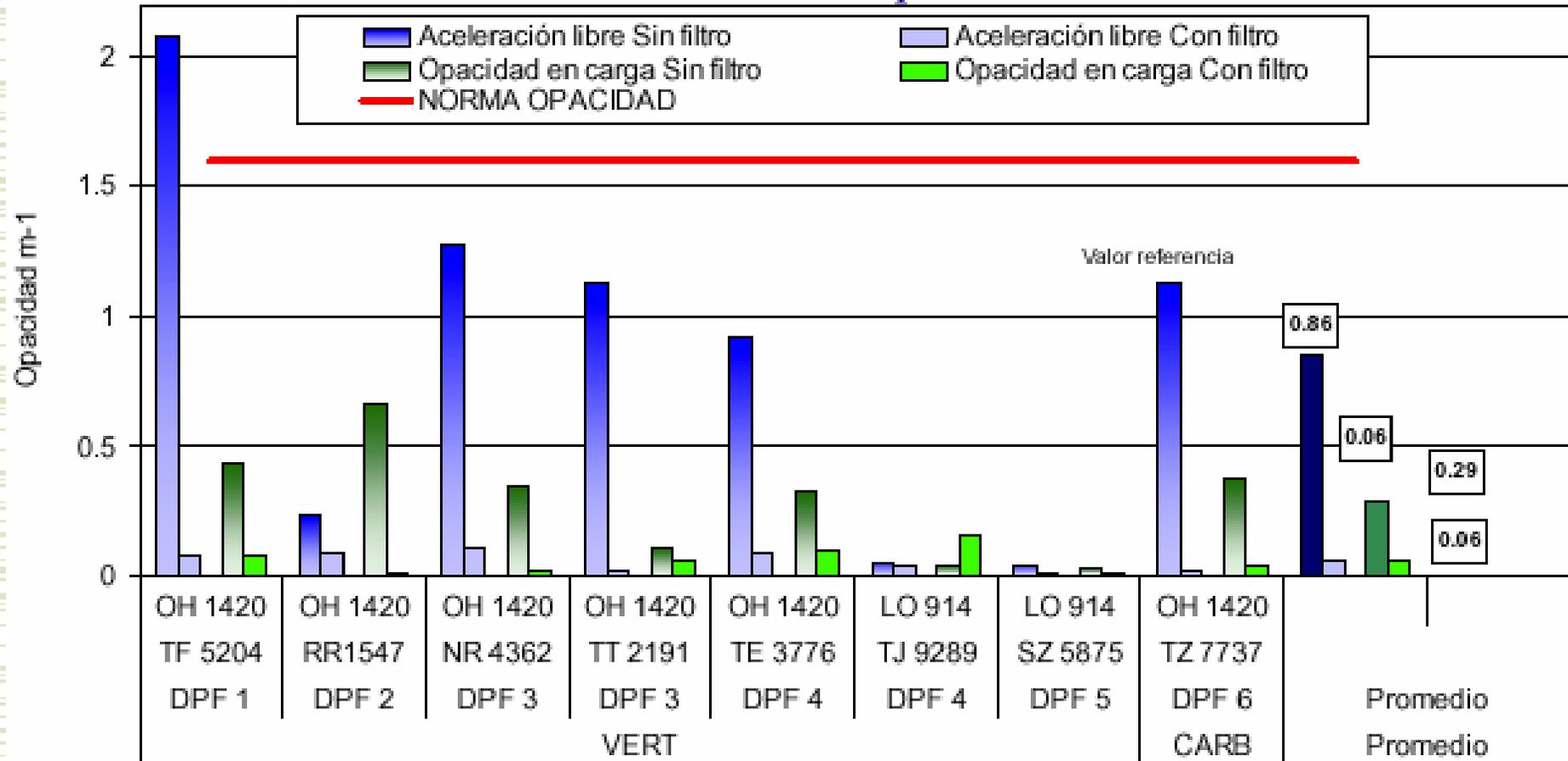
Eficiencia de reducción del material particulado



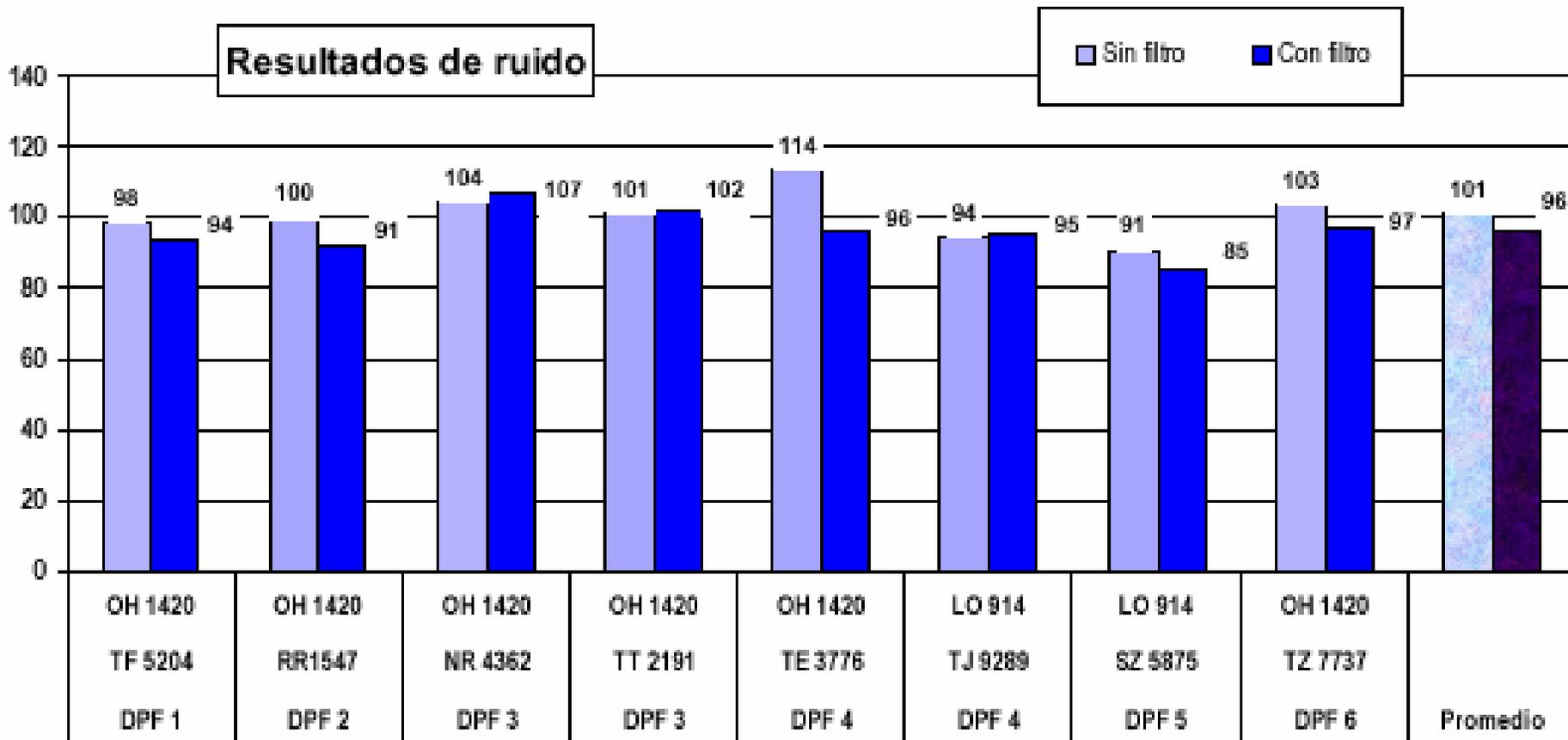
Eficiencia de reducción del material particulado

Fuente: 3CV

Resultados Opacidad



Ruido en el escape sin y con los filtros de partículas



Conclusiones del 3CV

- ◆ Fueron ensayados 9 sistemas de post tratamiento (8 DPF y 1 DOC)
- ◆ Los 6 sistemas con certificación VERT o CARB demostraron alta eficiencia en reducción de material particulado en masa (90%) y en partículas sólidas ultrafinas (99%)
- ◆ El DOC mostró baja eficiencia en masa y ninguna eficiencia en partículas sólidas ultrafinas
- ◆ Los sistemas DPF demostraron su capacidad para operar adecuadamente en la flota de Santiago

Demostración a la prensa



Beneficio en costos de salud de los filtros de partículas



Certificaciones CARB y VERT

- ◆ Agencia de Protección Ambiental Suiza (BUWAL), bajo protocolo VERT
- ◆ Agencia de Protección Ambiental del Estado de California (ARB) de EEUU, conforme al título 13, capítulo 14, secciones 2700 a 2710, para el nivel 3 de reducción de Material Particulado

Aspectos a considerar

- ◆ Existen filtros que funcionan con altos contenidos de azufre
- ◆ La oferta tecnológica se amplía si el combustible se reduce sustancialmente
- Necesidad de reducir azufre
- ◆ En Chile, se usarán en buses Euro I y Euro II a partir de mayo de 2006

Transantiago

- ◆ Buses articulados en troncales y no articulados en rutas alimentadoras
- ◆ Menor dimensión en infraestructura que Transmilenio
- ◆ Implementación entre Diciembre de 2004 y Agosto de 2006
- ◆ Primeros buses en operación a partir de Agosto de 2005



	Servicios de Transporte Público	Administrador Financiero Transantiago	Centro de Información y Gestión
Dic04	Recepción de Ofertas (21)	Toma de razón de Bases e inició de venta.	Ingreso a Contraloría de Bases de Licitación
Ene05	Adjudicación (14) y firma de contratos		
Feb05	Acreditación de Flota	Recepción de Ofertas	
Mar05			Recepción de Ofertas
Abr05		Firma de contratos	Firma de contratos
May05	Proceso de Preoperación	Proceso de Preoperación	Proceso de Preoperación
Jun05			
Jul 05			
Ago05	Inicio de Implementación <ul style="list-style-type: none"> • Operación de Empresas • Primeros buses estándar Transantiago en operación. 	Administración sobre pago en monedas.	Proceso de Preoperación

	Servicios de Transporte Público	Administrador Financiero Transantiago	Centro de Información y Gestión
Nov05	Fase 1B de Implementación <ul style="list-style-type: none"> • Segunda partida de buses estándar Transantiago. 	Administración sobre pago en monedas.	Implementación
Feb06	Fase 1C de Implementación <ul style="list-style-type: none"> • Tercera partida de buses estándar Transantiago. 	Administración sobre pago en monedas.	Implementación
May06	Fase 2 de Implementación <ul style="list-style-type: none"> • Filtros de Post tratamiento (buses de régimen, Euro I y Euro II) • Equipamiento de Cobro • Equipamiento de Localización 	Operación mixta.	Marcha Blanca
Ago06	Etapa de Régimen <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de Recorridos • Reducción de Flota 	Plena Operación.	Plena Operación.

Algunos factores clave



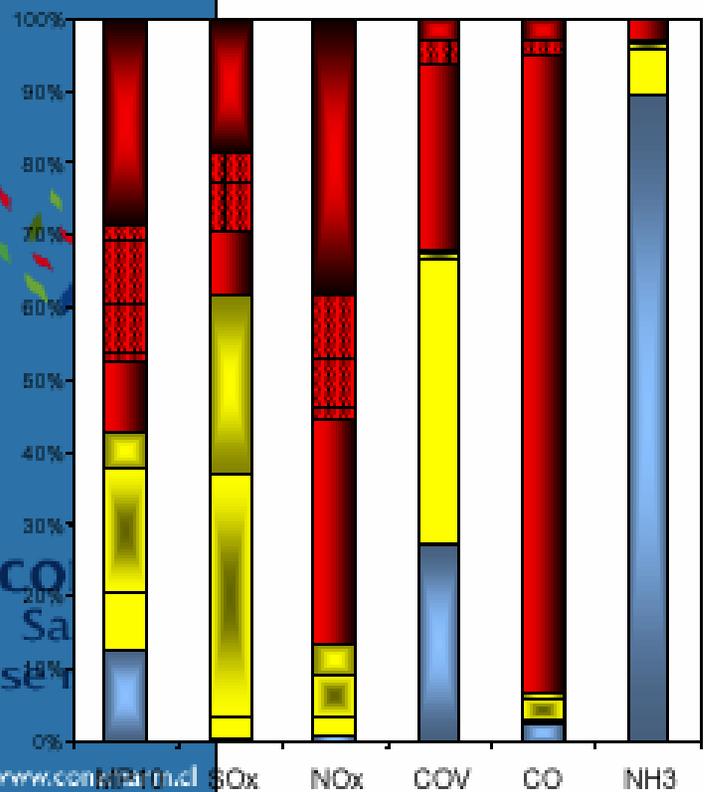
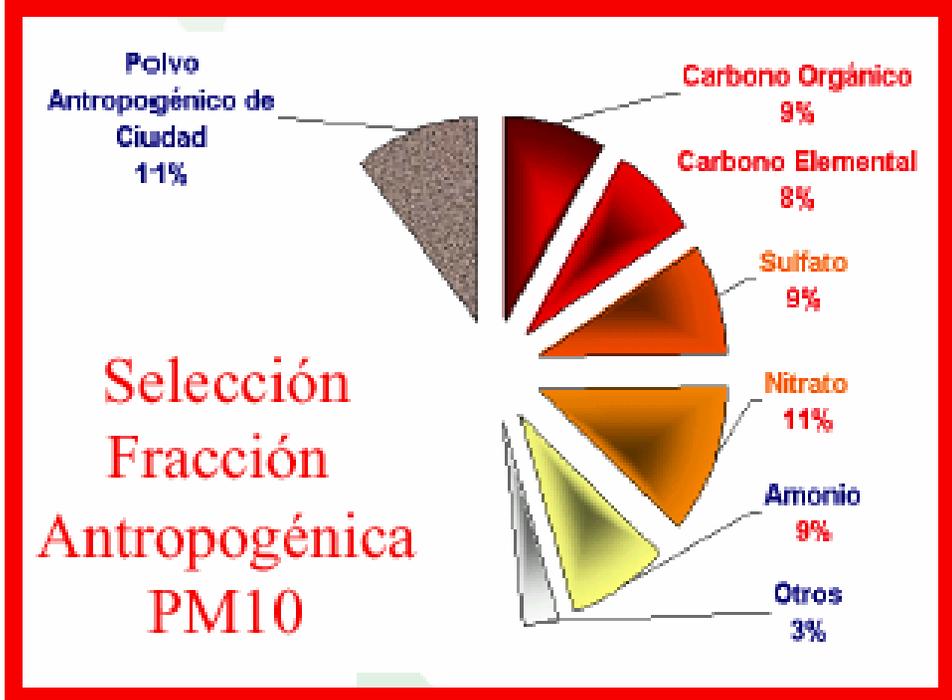
Foto: N.Y. Rojas

1. Caracterización de material particulado



Foto: N.Y. Rojas

Estimación Responsabilidad Antropogénica en concentraciones de PM10 por tipo de fuente



- Buses
- Camiones
- Veh. Livianos
- Fijas Combustión
- Fijas Procesos
- Residencias
- Quemadas, aguas servidas, crianza de animales

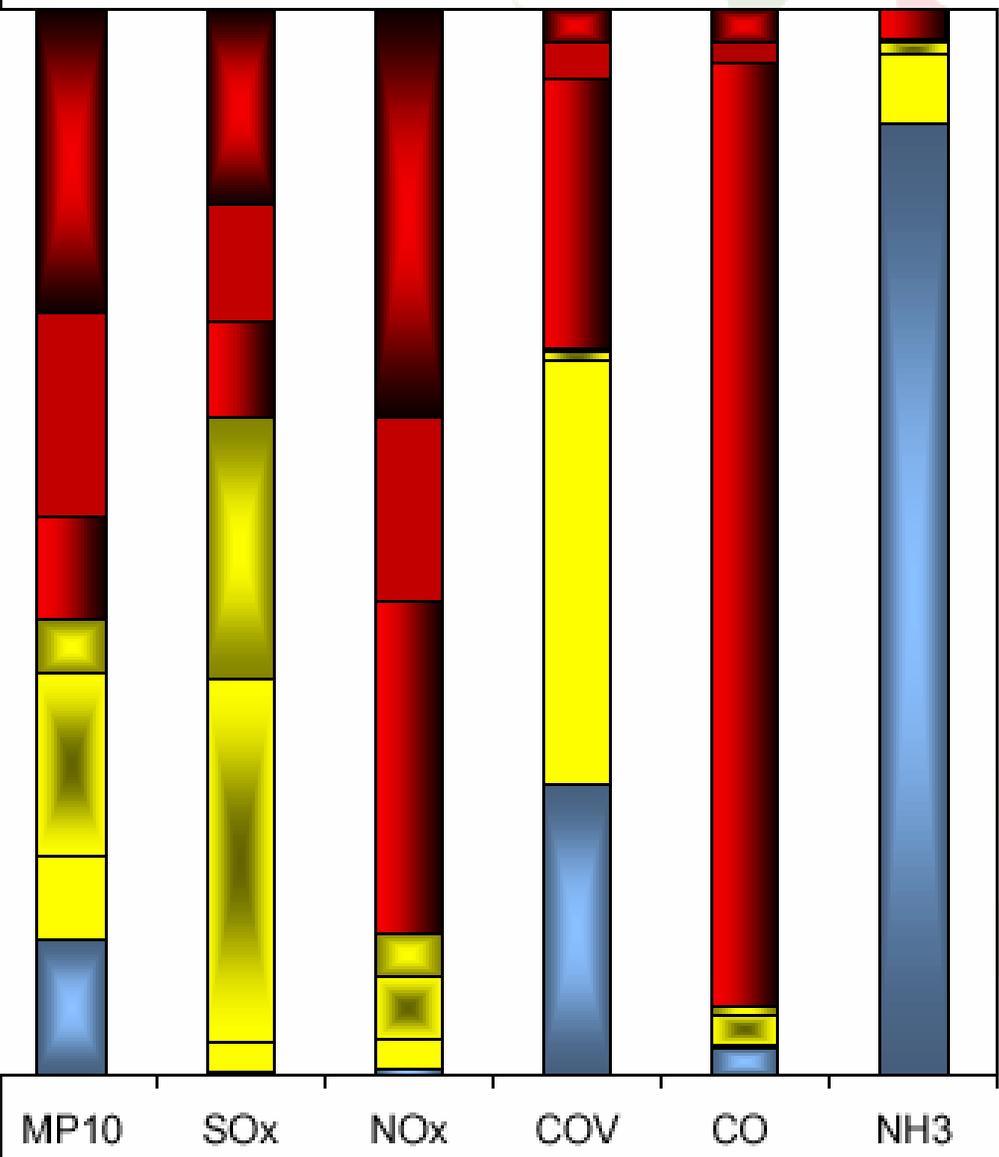
Fuente	Participación
Buses	21%
Camiones	13%
Veh. Livianos	14%
Total Móviles	48%
Fijas Combustión	12%
Fijas Procesos	14%
Residenciales	7%
Total Fijas	33%
Quemadas, crianza de animales, aguas servidas	19%
Total Areales	19%

Fuente: Conama

Responsabilidad en emisiones año 2000

GOBIERNO DE CHILE
CONAMA
METROPOLITANO DE SANTIAGO

100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%



- Buses
- Camiones
- Veh. Livianos
- Fijas Combustión
- Fijas Procesos
- Residencias
- Quemadas, aguas servidas, crianza de animales

CONAMA
Santiago
se mueve

Fuente: Conama

Resultado de la caracterización

Fuente	Participación
Buses	22%
Camiones	13%
Vehículos livianos	14%
Fuentes móviles	49%
Fijas combustión	12%
Fijas procesos	14%
Residenciales	7%
Fuentes fijas	33%
Quemas, crianza de animales, aguas servidas, otros	19%
Otras fuentes	19%

Fuente: Conama

2. Centro de Certificación y Control Vehicular – 3CV



Foto: N.Y. Rojas

Motivación y logros del 3CV

- ◆ Control del cumplimiento de normas de emisión en la importación de vehículos
 - Rechazo de lotes con bajo cumplimiento
 - Rechazo total de algunas marcas (p. ej. LADA)
- ◆ Pruebas de nuevas tecnologías y combustibles
 - Filtros de partículas para buses de Transantiago
 - Diesel de bajo azufre

Laboratorio de medición de emisiones

Dinamómetros de chasis para vehículos livianos, buses y motocicletas



Foto: N.Y. Rojas

Laboratorio de medición de emisiones (2)



- ◆ Túnel de dilución (CVS) para acondicionamiento de muestras

Laboratorio de medición de emisiones (2)



- ◆ Análisis de gases
- ◆ Análisis de partículas
 - Concentración másica
 - Concentración en número



Fotos: N.Y. Rojas

3. Fiscalización



Foto: N.Y. Rojas

Operativos en la vía pública

- ◆ Esquema de pruebas en la vía similar al de Bogotá
- ◆ Herramientas legales fuertes para la sanción y detención de los vehículos, incluso de transporte público



Centros de revisión

- ◆ Mayor control
 - Esquema centralizado
 - Sin contacto entre operarios y usuarios
 - Inspectores permanentes
- ◆ Pruebas
 - Emisiones - similar a Bogotá
 - Técnico-mecánicas: Luces, frenos, ejes, tubo de escape, otros



4. Mejoramiento de combustibles



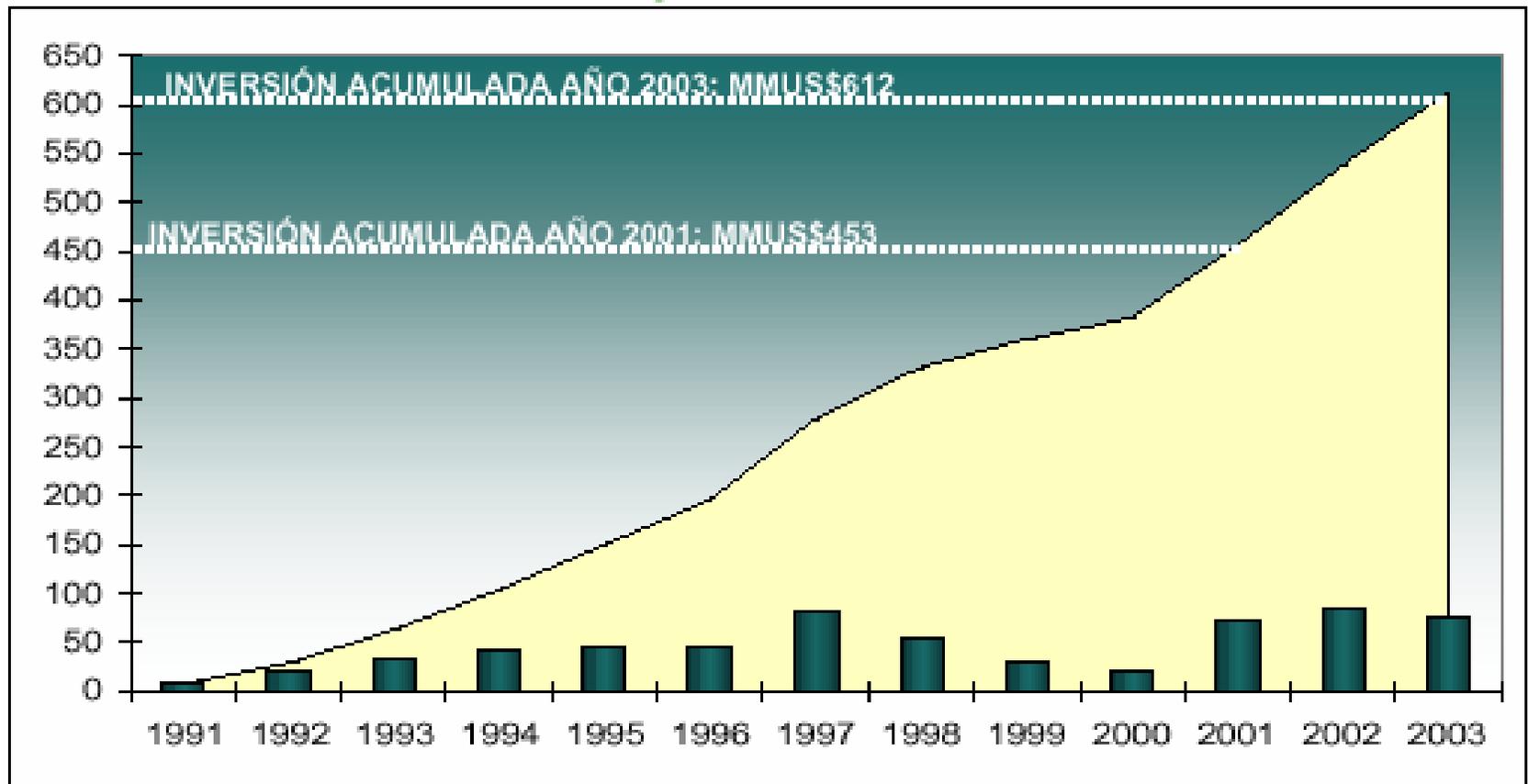
Gasolina para la RM

Especificación		1998	Jul-04
Aromáticos	% vol, max	Informar	38
Benceno	% vol, max	4	1
Oxígeno	% wt, max	Informar	2
RVP (*)	psi, max	9 (11,5)	8 (10)
Olefinas	% vol, max	Informar	12
Azufre	ppm, max	1000	30
T 50%	°F, máx	250	250
T 90%	°F, máx	374	350

Diesel para la RM

Especificación		Abril 2001/junio 2004	Jul-04
Azufre	ppm, max	300 .	50
Cetano	Nº, min	50	50
T 90% rec.	°C, máx	338	338
Densidad	Kg/l	0.84± 0.01	0.84±0.01
Aromáticos	% vol, max	35	35
Aromát. Policíc.	% vol, max	10	5
Nitrógeno	ppm, máx	170	170

Inversiones de ENAP (Empresa Nacional de Petróleos)



Sistemas de reducción de partículas para buses de Transantiago

Néstor Y. Rojas

Profesor Asistente

Departamento de Ingeniería Química

Universidad de Los Andes

nrojas@uniandes.edu.co

Tel. 3394949 Ext. 3876