

# Contaminación Atmosférica en Santiago

## ¿Cómo Estamos?



Centro de Estudios Públicos, 18 de Abril 2006

Ricardo Katz, Ing. Civil, M.Sc.

# CONTAMINACIÓN DEL AIRE

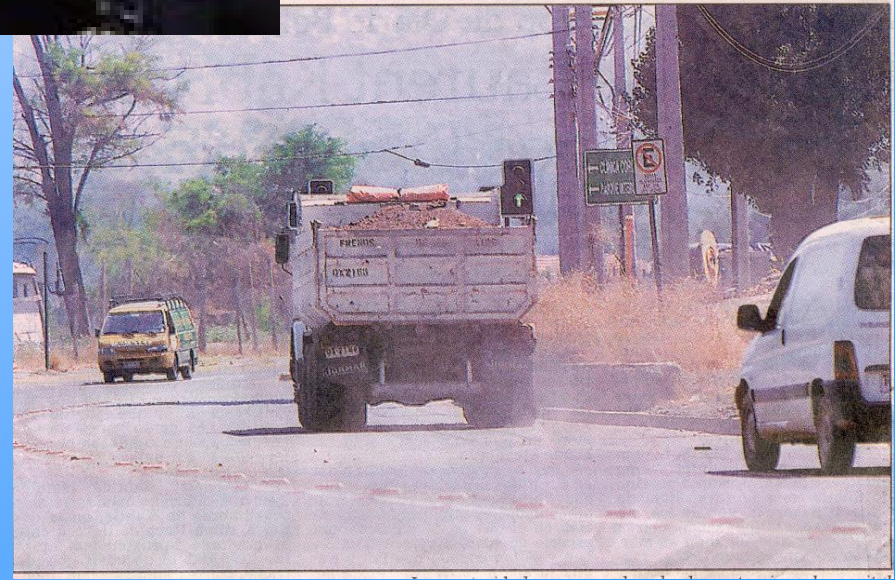
→ Presencia en el ambiente público de sustancias, elementos o combinaciones de ellos, en concentraciones y permanencias superiores o inferiores, según corresponda a las normas de calidad ambiental del aire.

→ ¿Qué se Mide?

→ ¿Cómo se Mide?

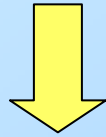
→ ¿Donde se Mide?

→ Importancia de Definiciones Legales



# ¿Qué contaminantes están regulados?

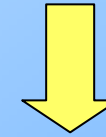
Material Particulado



PM10 < 10 μm

PM 2.5 < 2.5 μm

Gases



CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>

Tipos de  
Contaminantes

Primarios

Secundarios

Fuentes  
Contaminantes

Fijas: Puntuales, Grupales, de Area

Móviles

# CONTAMINANTES - ECONOMÍA

Contaminantes según generación:

→ Primera: PTS, CO, SO<sub>2</sub>. Países pobres, procesos de producción tecnológicamente anticuados.

---

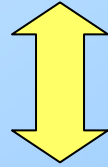
**(Estudios de Banco Mundial: Control de Contaminantes de Primera Generación: IPC US\$ 4000 - 5000).**

→ Segunda: PM10, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>.

→ Tercera: PM2,5 , tóxicos atmosféricos: HAP's, Sulfatos, Amonio, Dioxinas, Furanos.

→ Santiago

Las políticas ambientales se han adelantado al  
desarrollo económico



Acciones de control de la contaminación:

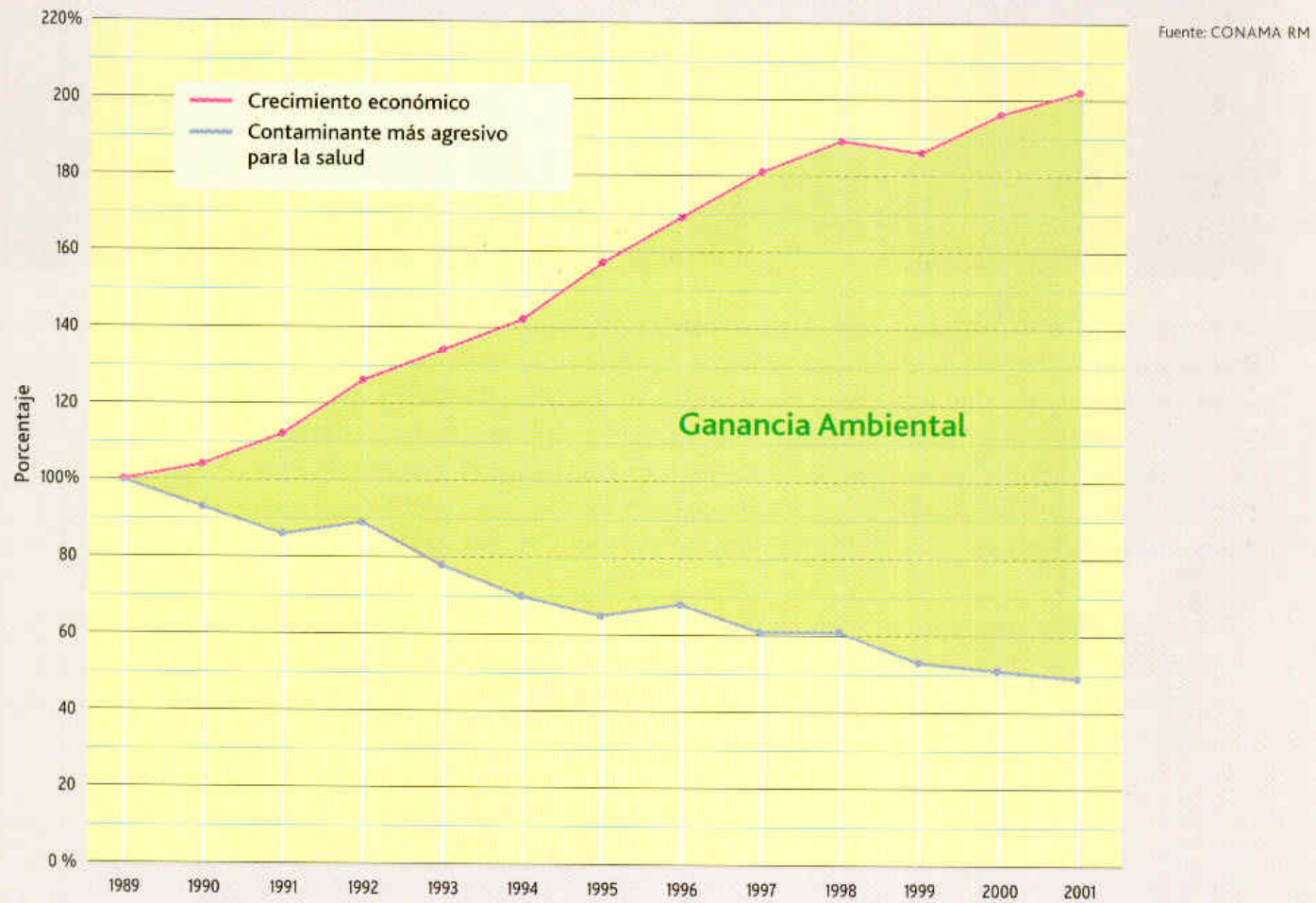
- Deberán ser más complejas.
- Eficientes.
- Mejor focalizadas.

*Santiago tiene fama de ser una de las ciudades más contaminadas, pero la contaminación del aire ha disminuido persistentemente entre 1990 y 2000.*

*La gracia de Santiago es que se cuenta con datos confiables.*



Figura 4: Crecimiento económico de la Región Metropolitana y descontaminación



**Fuente CONAMA RM**



# NORMAS PRIMARIAS DE CALIDAD DE AIRE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Contaminante	Horaria	8 Horas	24 Horas (diario)	Anual
CO	30.000	10.000	----	----
SO <sub>2</sub>	----	----	250	80
NO <sub>2</sub>	400	----	----	100
O <sub>3</sub>	160	120	----	----
PM10	----	----	150	50

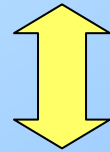
**Material Particulado calculado con Percentil 98 % y los gases con Percentil 99%. Son calculados como promedios anuales o promedios de 3 años.**

**1er Cuerpo Normativo Res. 1215/1978, MINSAL, se ha perfeccionado mediante decretos supremos más recientes.**

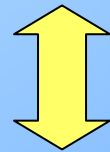
**PM10: D.S. 59 y 45**

**Gases: D.S. 112 (O<sub>3</sub>)-113 (SO<sub>2</sub>)-114 (NO<sub>2</sub>)-115 (CO)**

*El éxito o fracaso de una política de descontaminación se mide por la calidad del aire que respiramos*



INMISIÓN



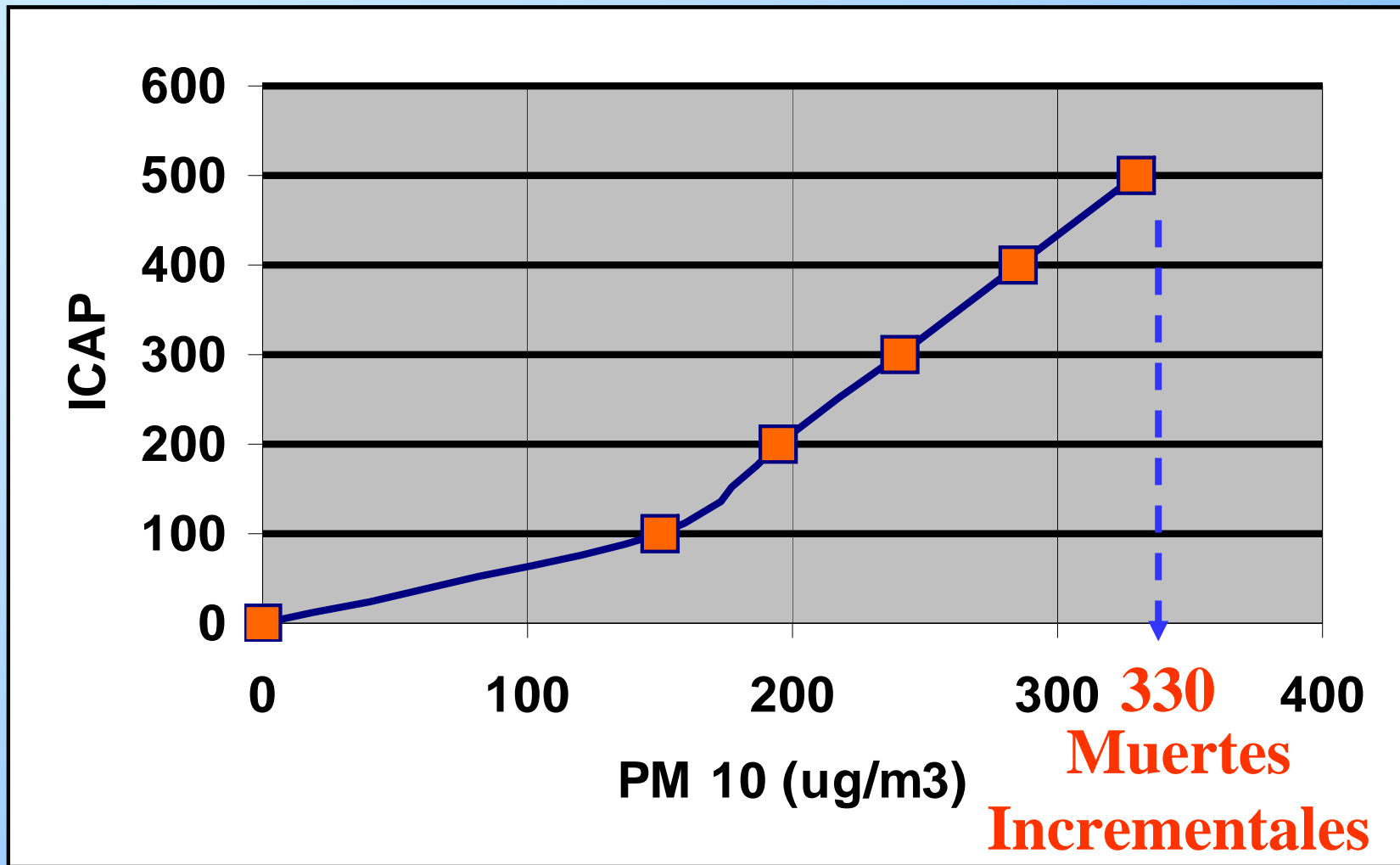
Mejorar la calidad del aire implica disminuir las  
EMISIONES

→ La relación entre inmisión y emisión no es lineal, hay concentraciones de contaminantes en el aire que son “background”.

# INDICES DE CALIDAD DE AIRE PARA MATERIAL PARTICULADO (ICAP) PPDA-RM

ICAP	Categoría ICAP	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs)	Nivel	Episodio
0 a 100 BUENO	0	0	0	----
101 a 200 REGULAR	100	150	0	----
201 a 300 MALO	200	195	1	Alerta
301 a 400 CRÍTICO	300	240	2	Preemergencia
401 a 500 PELIGROSO	400	285	2	Preemergencia
> 501 EXCEDE	500	330	3	Emergencia

# ICAP versus PM 10

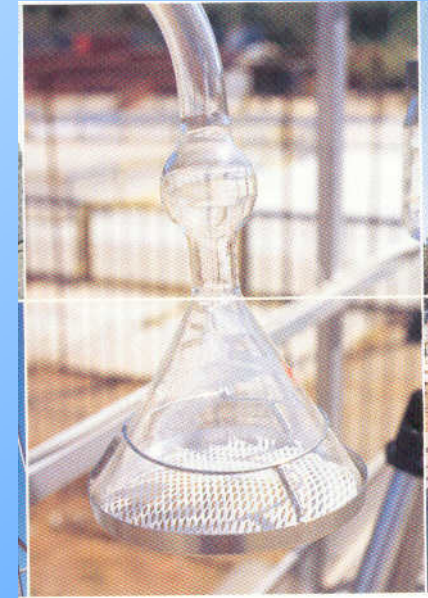


# COMAPARACIÓN DE ICAP CHILENO CON NIVELES INTERNACIONALES

Niveles	Chile	EPA y California	México
Alerta	200	544	-
Preemergencia	300	700	476
Emergencia	500	878	724

Más estrictas

# ¿Cómo se mide la Contaminación Atmosférica?



## GASES

EMRPG: Estación de Monitoreo con Representatividad Poblacional para gas  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  y  $CO$ .



## PM 10

EMRP: Estación de Monitoreo de Material particulado Respirable PM10 con representatividad poblacional debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe existir al menos un área edificada habitada en un círculo de radio de 2 km.
- Debe estar ubicada a más de 15 m de la calle más cercana, y a más de 50 m de la calle que tenga un flujo igual o mayor a 2500 vehículos/día.
- Debe estar colocada a más de 50 m de la salida de un sistema de calefacción o de otras fuentes fijas similares.

# MÉTODOS DE MEDICIÓN

## GASES

**O<sub>3</sub>**: quimiluminiscencia con etileno, fotometría de absorción ultravioleta, cromatografía líquida gas sólido, espectrometría de absorción óptica diferencial con calibración in situ.

**SO<sub>2</sub>**: fluorescencia ultravioleta, espectrometría de absorción diferencial con calibración in situ.

**NO<sub>2</sub>**: quimiluminiscencia, métodos basados en el método modificado de Griess-Saltzman, espectrometría de absorción óptica diferencial con calibración in situ.

**CO**: fotometría infrarroja no dispersiva.

Métodos de medición de referencia o equivalente de USEPA o de la Directivas de la Comunidad Europea.

# METODOS DE MEDICIÓN

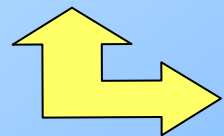
## PM10

**PM10:** método gravimétrico de muestreador de alto volumen y de bajo volumen equipado con cabezal PM-10, método por transducción gravimétrica de oscilaciones inducidas, métodos basados en el principio de atenuación beta.

# CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

## Es necesario saber:

- Quién Emite y Cuánto.
- Dónde y Cuándo se emite cada contaminante.
- Las transformaciones de los contaminantes en la atmósfera ( $O_3$ : contaminante secundario).
- Conocer las características de cada contaminante.

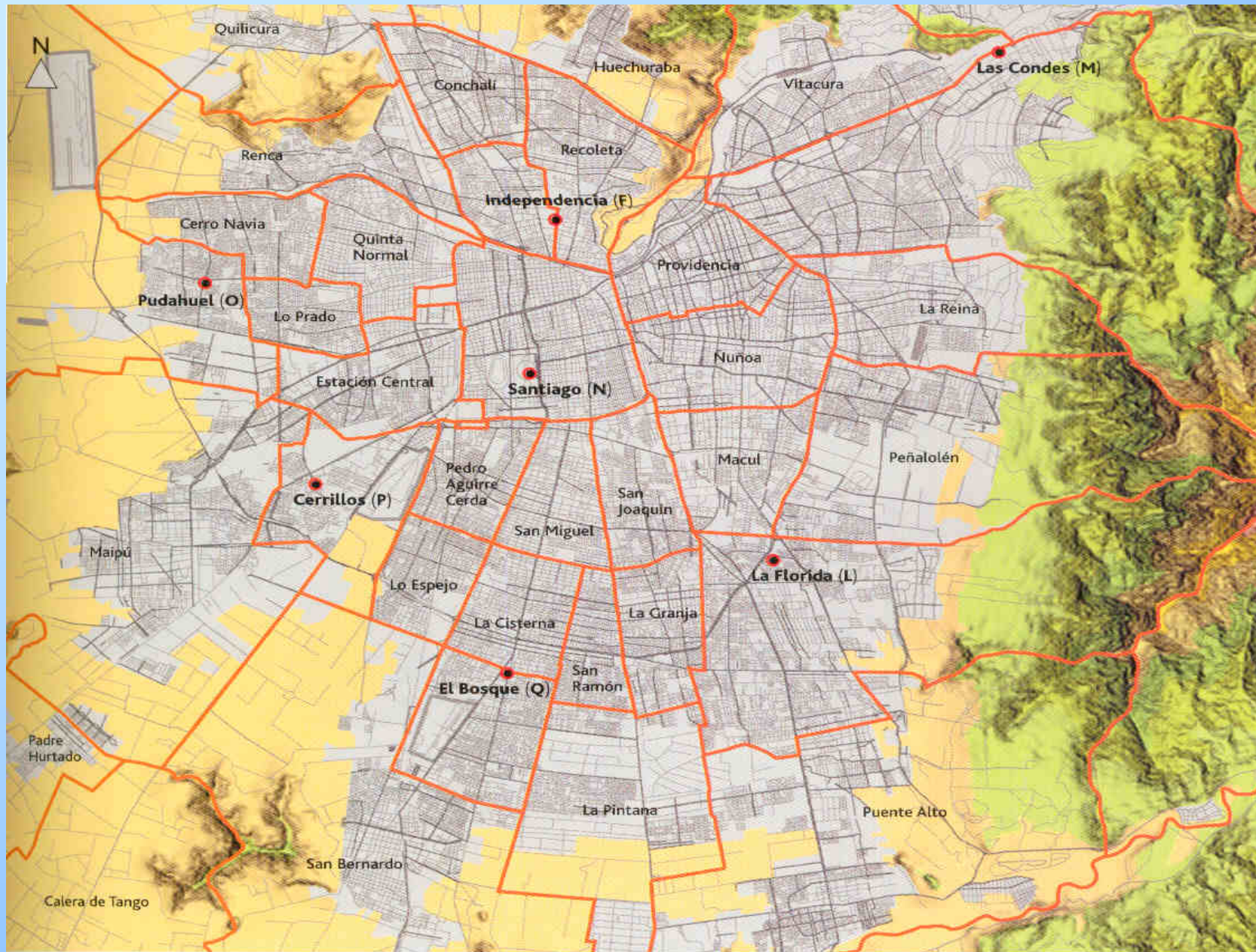


Regulaciones de emisión costo - eficientes

## **Red de Monitoreo MACAM - 2**

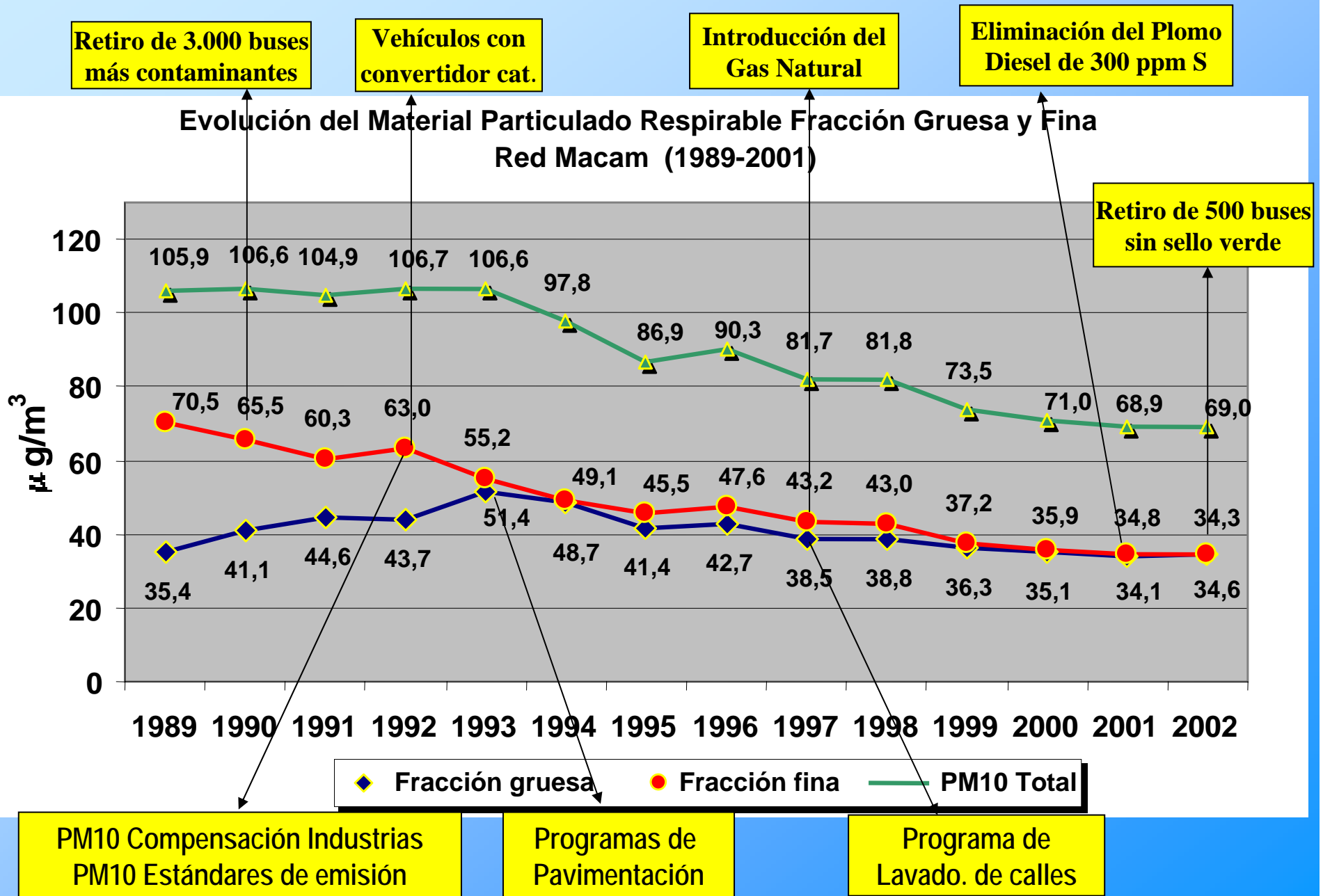
- Implementado en 1997.**
- Monitoreo Automático de Contaminantes.**
- 7 estaciones automáticas de monitoreo de CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, PM10, PM2,5.**
- Variables meteorológicas: velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad y presión.**







# Evolución de Fracción fina y gruesa del PM10



**¿En qué medida ha disminuido la contaminación?**

**→ Disminución de la concentración promedio anual de PM10 y PM2,5 entre 1989 y 2002.**

**→ PM10 Total: de 106  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1989) a 71  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2000).**

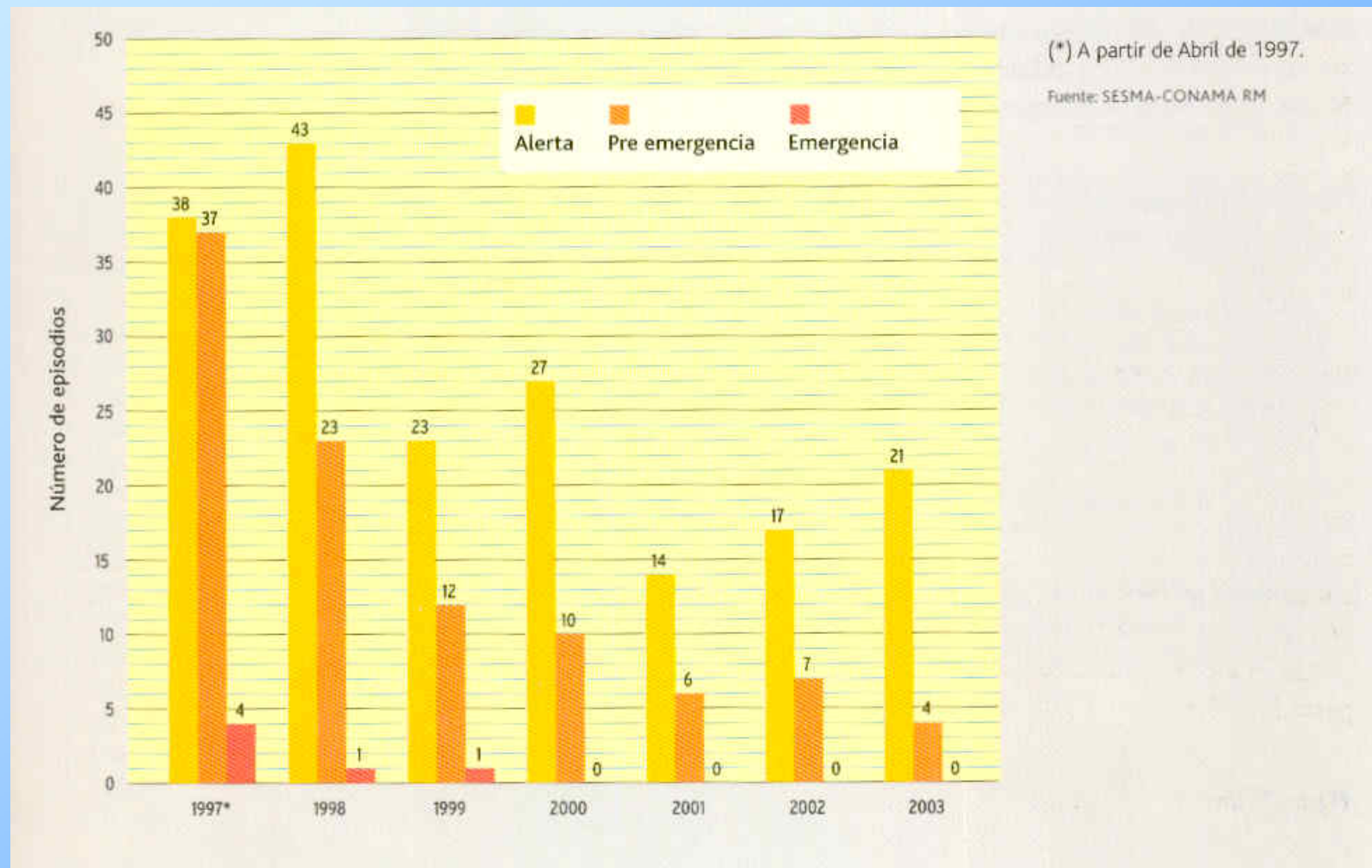
**→ En 11 años (1989-2000) PM10 Total cayó en 1/3 a pesar de que el número de vehículos y consumo de energía se duplicó.**

**→ PM2,5: de 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1989) a 34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2002).**

**→ 1989 2/3 PM10 Total correspondían a PM2,5, cifra que cayó a la mitad en 2002.**

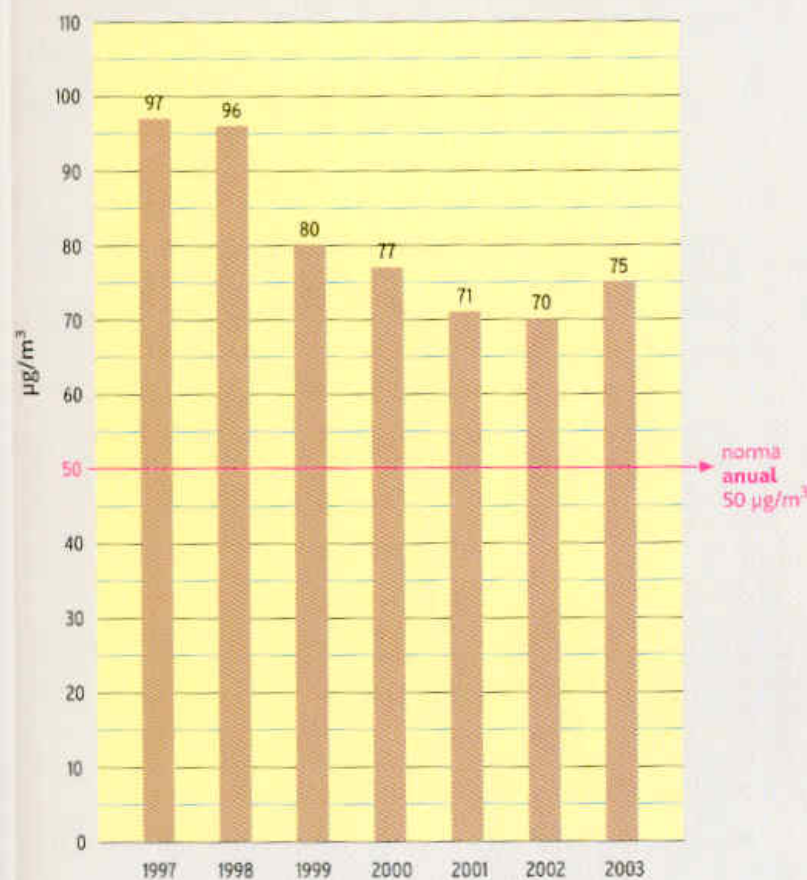
**→ PM10 se ha mantenido prácticamente constante desde 1999.**

# EVOLUCIÓN DE LAS SUPERACIONES DEL ICAP (Fuente: SESMA, CONAMA-RM)



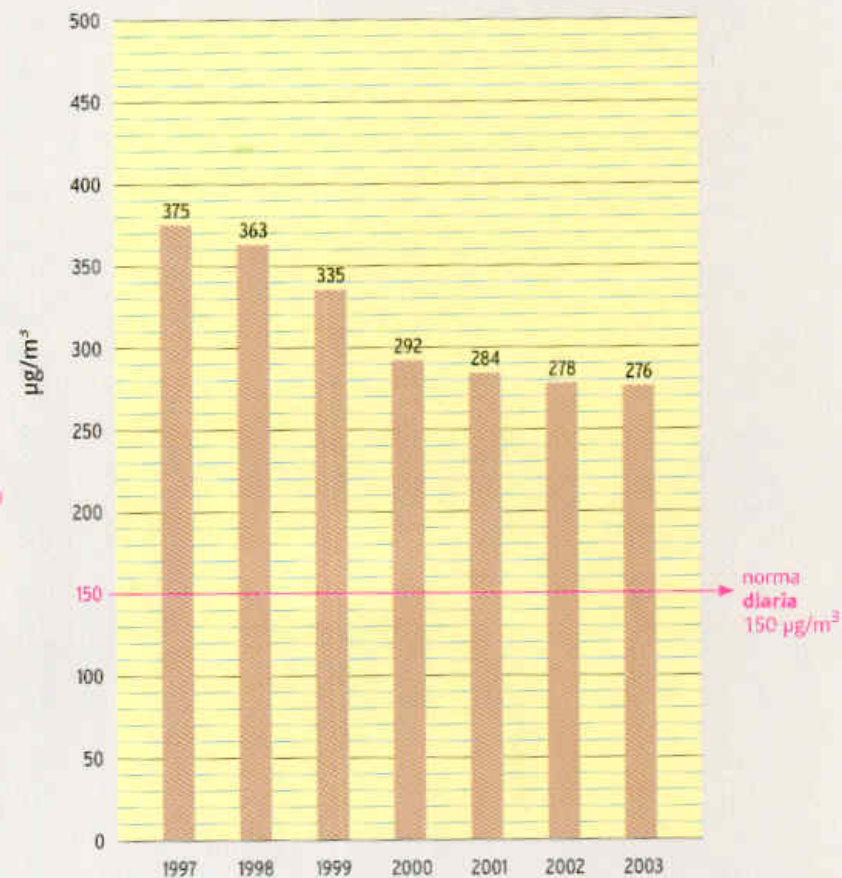
# EVOLUCIÓN DE PROMEDIOS ANUALES Y DIARIOS DE PM10 (Fuente: SESMA, CONAMA-RM)

Figura 12: Evolución de promedios anuales de MP10



Fuente: SESMA-CONAMA-RM

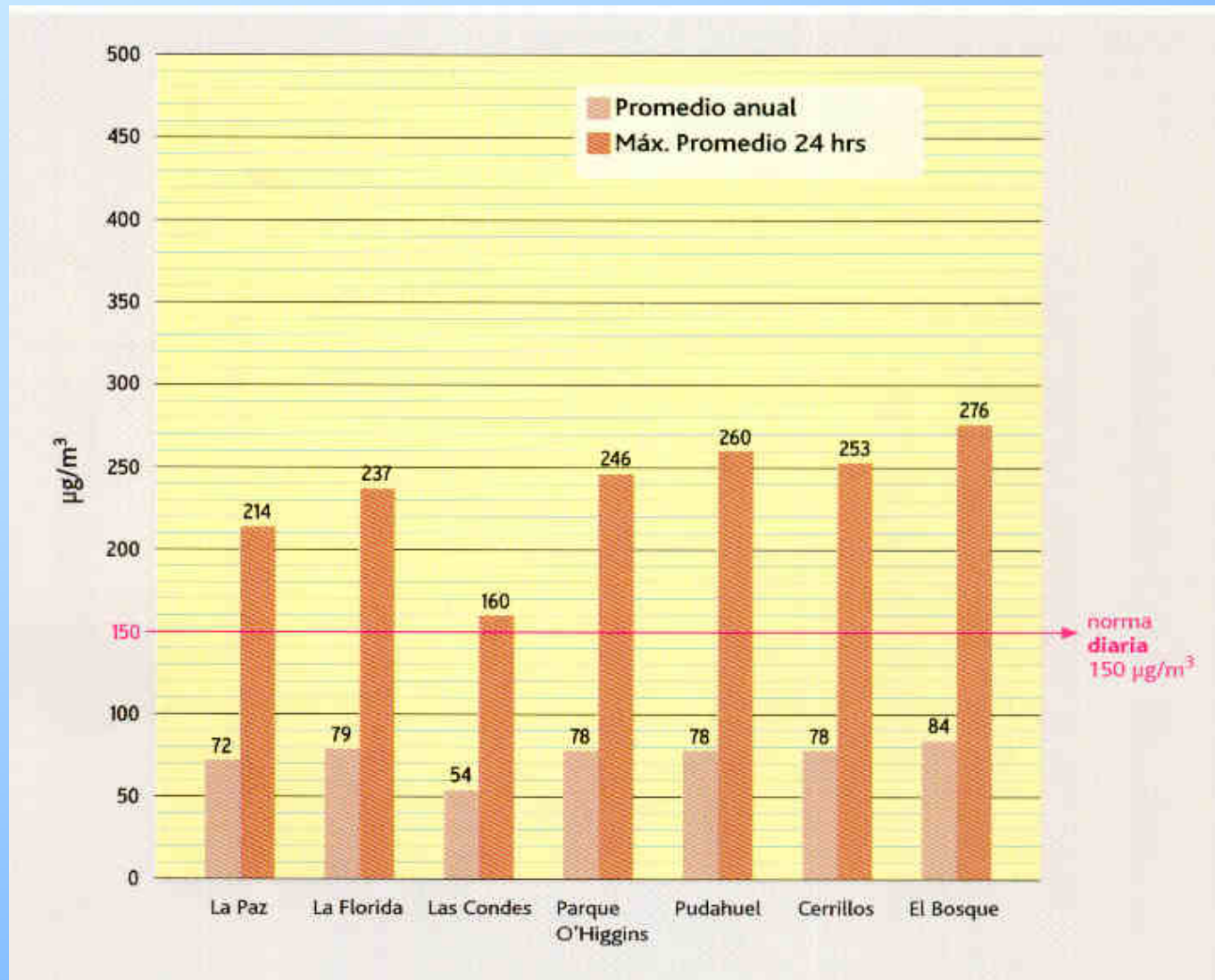
Figura 13: Evolución de máximos diarios de MP10



Fuente: SESMA-CONAMA-RM

# PROMEDIOS ANUALES Y MÁXIMOS DIARIOS DE PM10 POR ESTACIÓN 2003

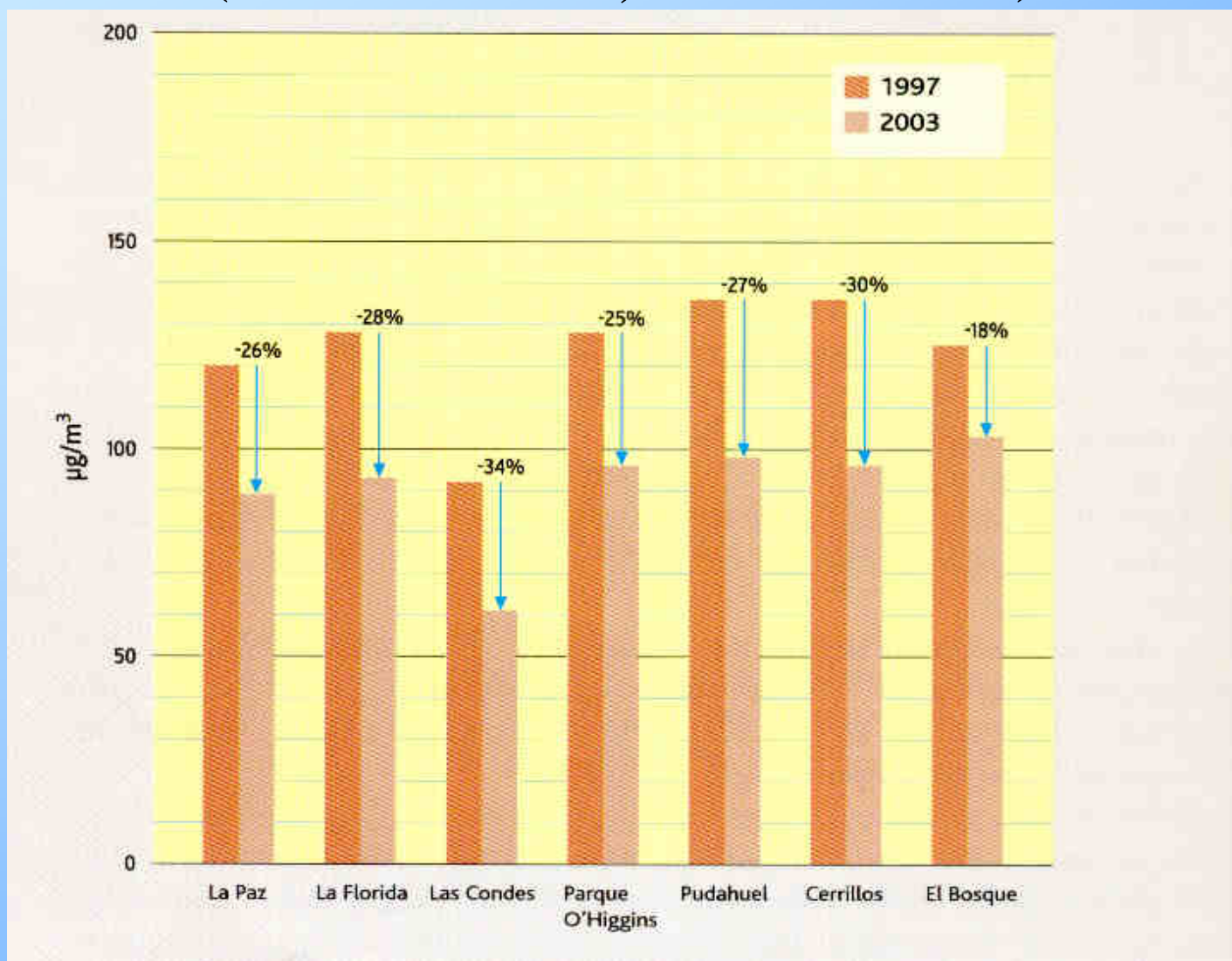
(Fuente: SESMA, CONAMA-RM)





# COMPARACIÓN DE LOS PROMEDIOS INVERNALES DE PM10 1997 - 2003

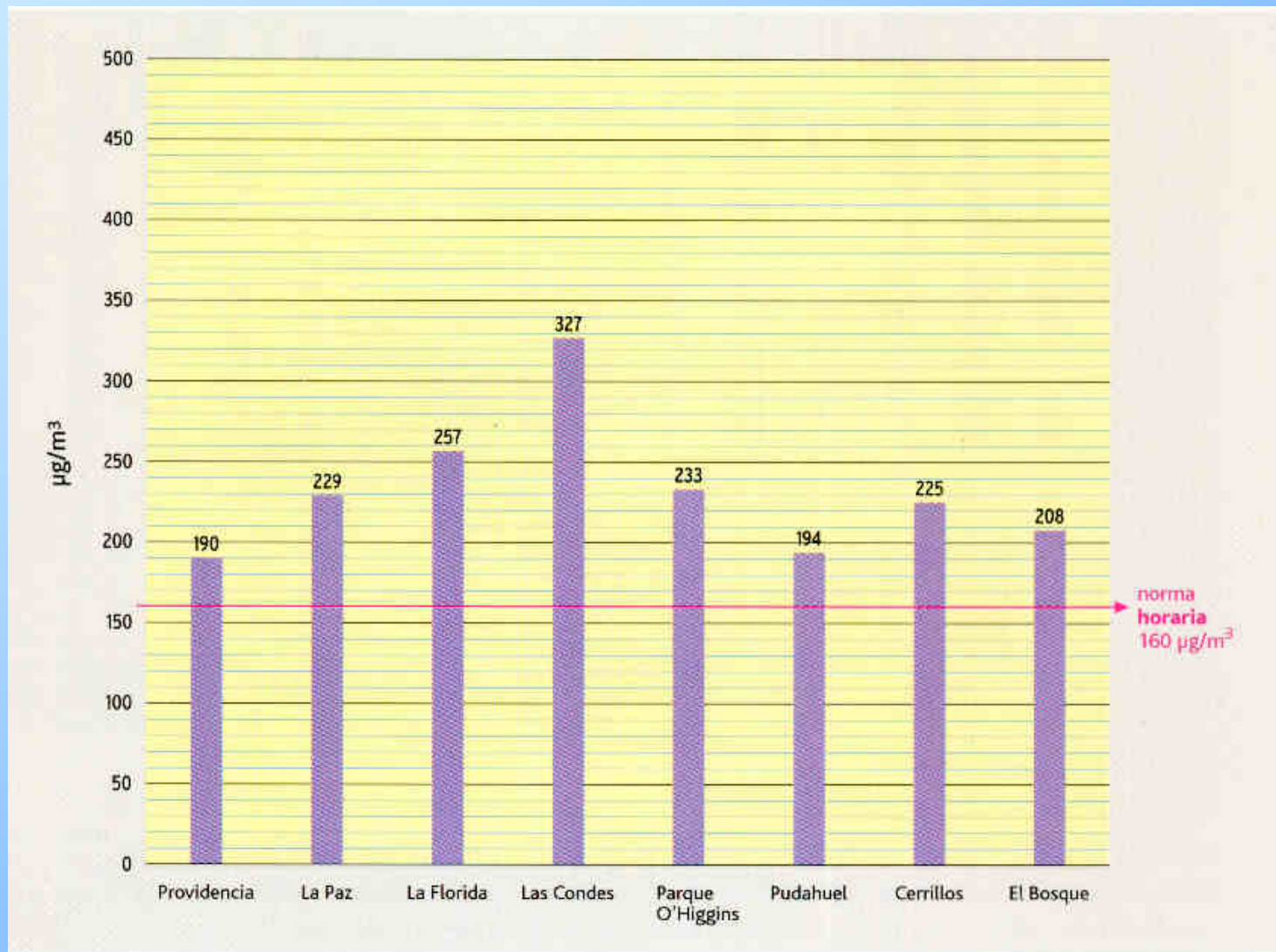
(Fuente: SESMA, CONAMA-RM)





# MÁXIMOS HORARIOS DE OZONO POR ESTACIÓN DE MONITOREO - 2001

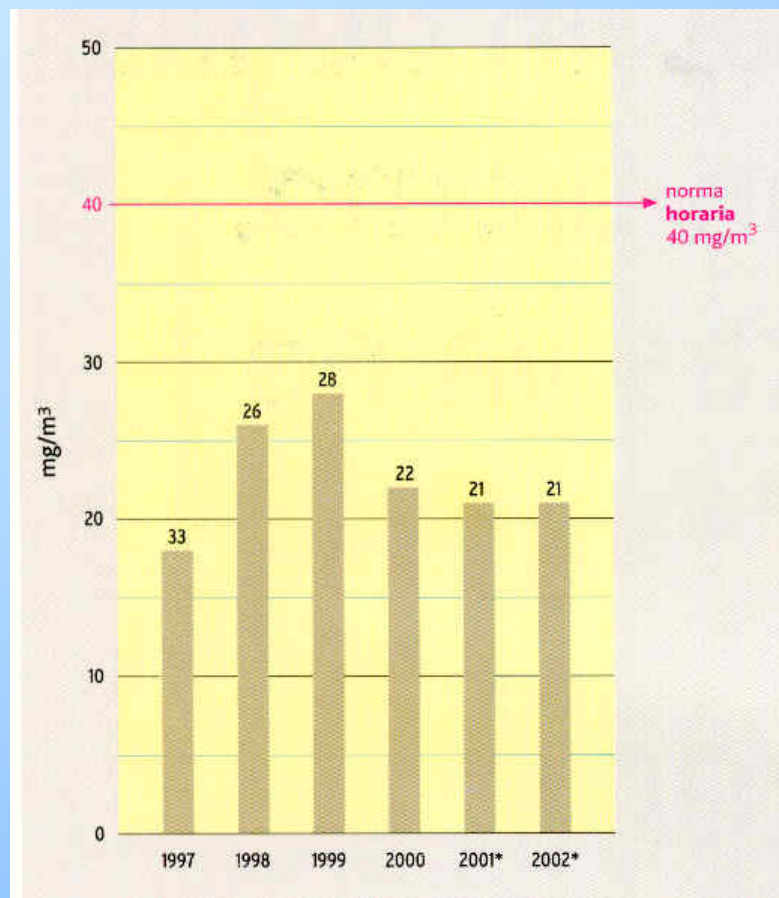
(Fuente: SESMA, CONAMA-RM)



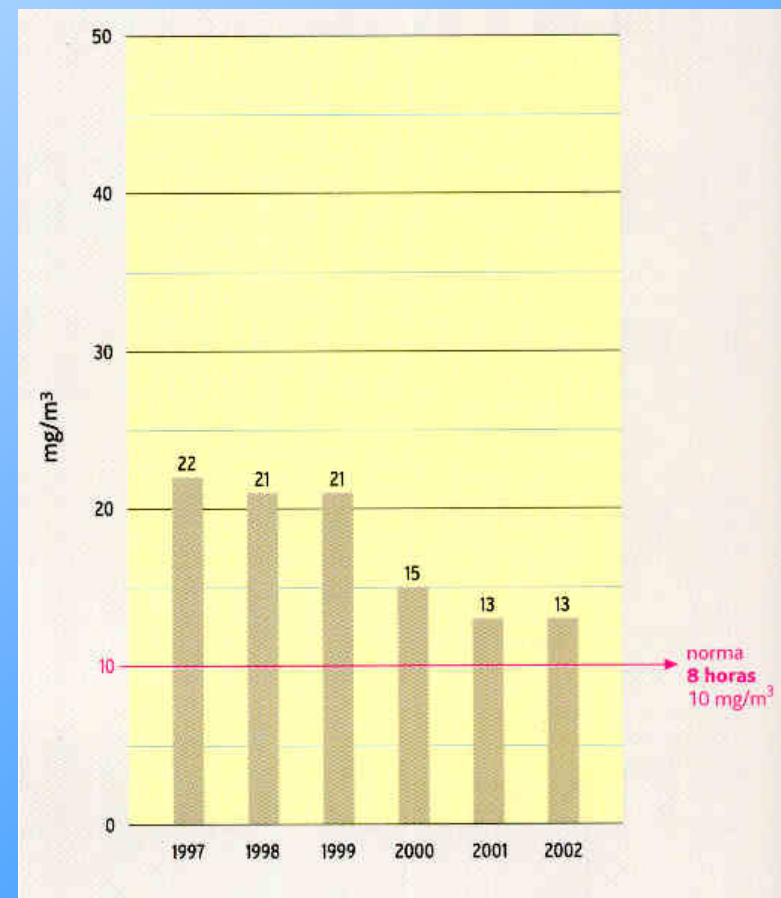
# MONÓXIDO DE CARBONO

(Fuente: SESMA, CONAMA-RM)

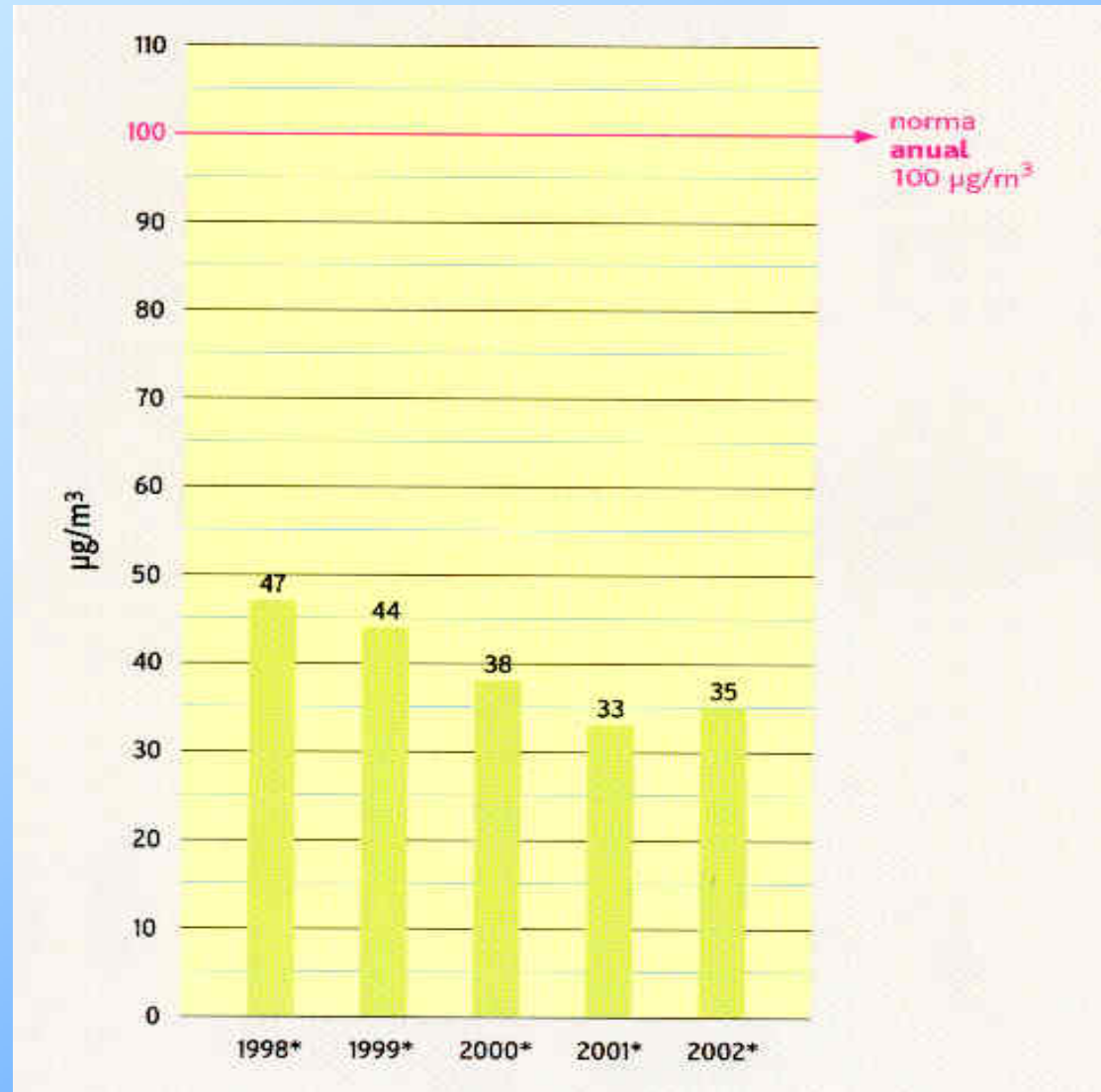
## Máximos horarios CO



## Máximos promedios móviles de 8 horas CO



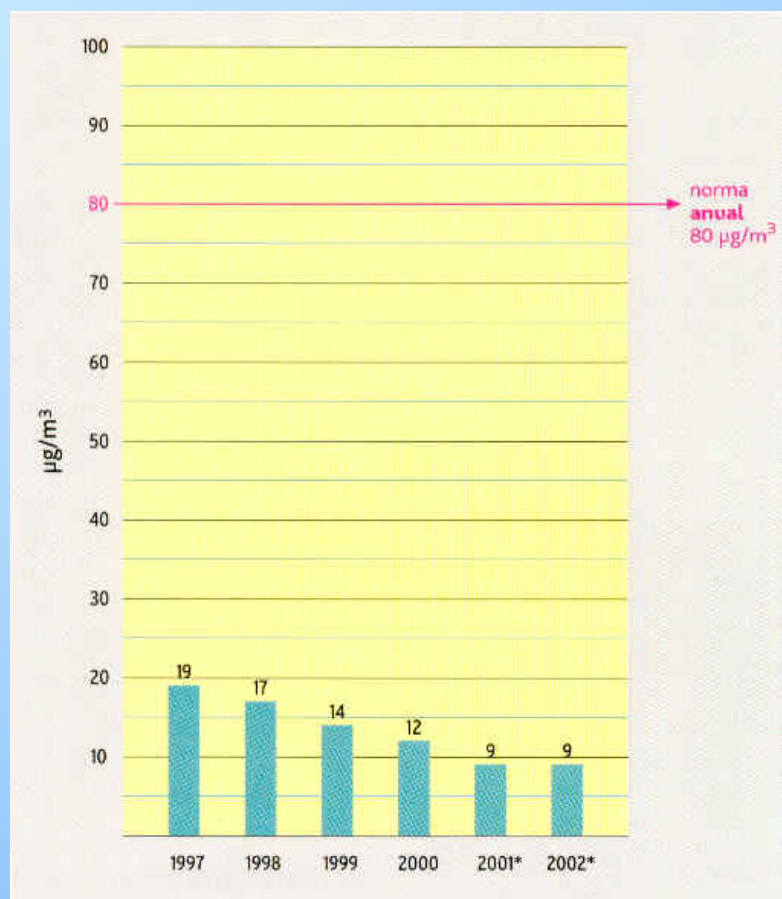
# CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUAL DE NO<sub>2</sub> (Fuente: SESMA, CONAMA-RM)



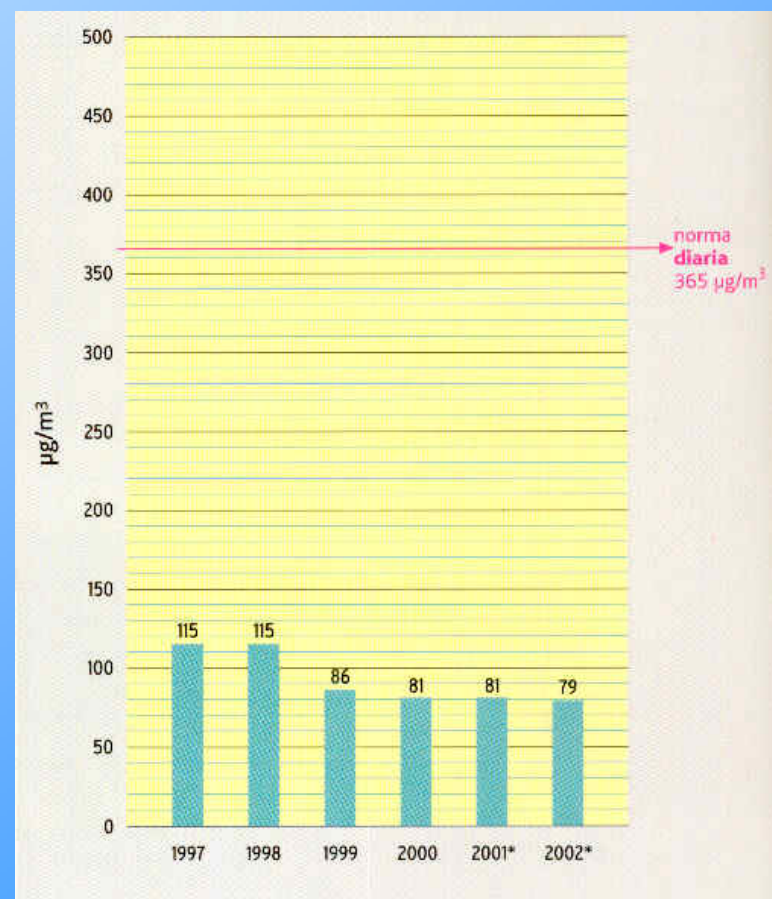
# DIÓXIDO DE AZUFRE

(Fuente: SESMA, CONAMA-RM)

Concentraciones  
anuales SO<sub>2</sub>



Concentraciones  
máx. diarias SO<sub>2</sub>



# **MEDIDAS ADOPTADAS EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN**

- Introducción de los permisos transables, D.S. N°4 (calderas, PM10).
- Regulación de fuentes de emisión específicas.
- Ley de Bonos de Descontaminación (en discusión).
- Renovación Tecnológica (locomoción colectiva).
- Introducción de Gas Natural.
- Mejora de los combustibles refinados (reducción de S y Pb).
- Sustitución del parque automotriz por vehículos con convertidor catalítico.

# IMPLICANCIAS DE LA CONTAMINACIÓN EN LA SALUD

- Las normas primarias de calidad del aire tienen como objetivo proteger la salud humana. Las normas de calidad de aire regulan las concentraciones máximas de los contaminantes en 1 h, 8 h, 1 día y 1 año de manera de evitar los efectos crónicos y agudos.
- Las políticas de acción están requiriendo de mayor información epidemiológica.
- Numerosos estudios relacionan enfermedades respiratorias y mortalidad prematura en Santiago con diversos contaminantes atmosféricos.

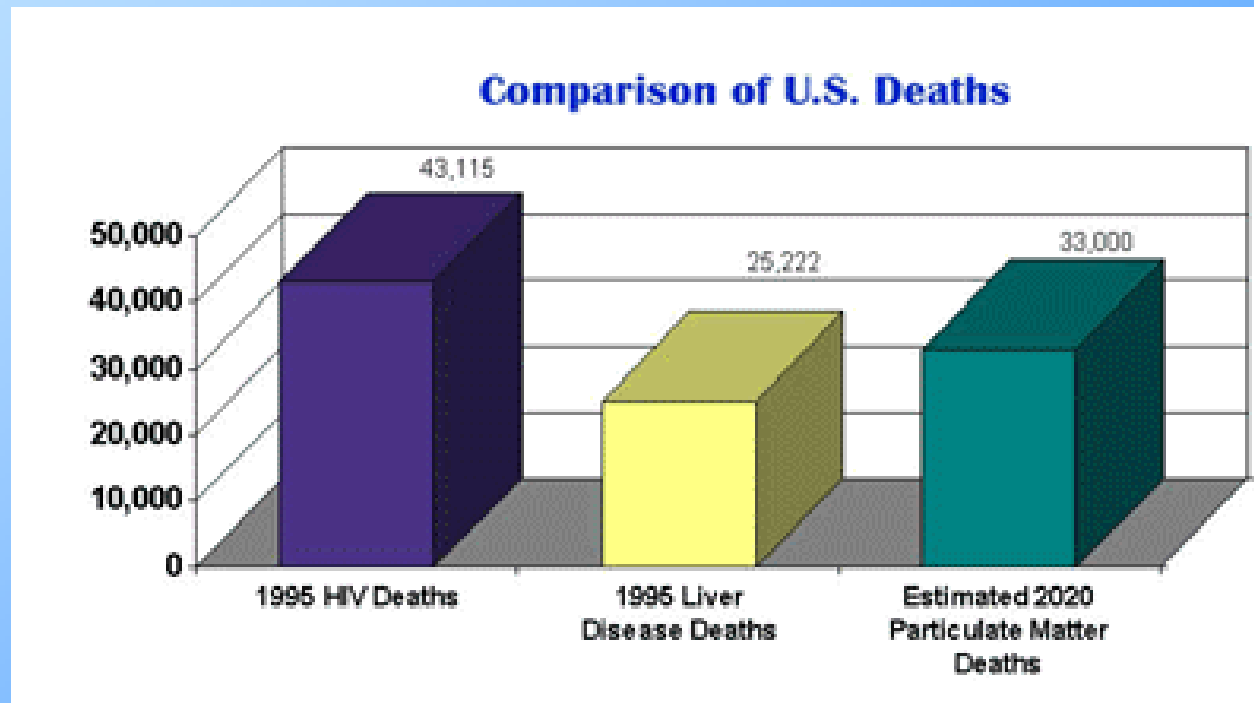


# Contaminantes y Mortalidad en Santiago

1) USEPA: *Inside the Greenhouse, Why Particulate Matter Matters*

→ Entre 2000-2020 se estima que habrán 8.000.000 muertes debido a PM10.

→ Se estima que solamente en USA ocurrirán 33.000 muertes anuales causadas por PM10.



2) *Luis A. Cifuentes, Victor H. Borja-Aburto, et al. Hidden Health Benefits of Greenhouse Gas Mitigation. SCIENCE, Vol. 293, 17 August 2001.*

- OMS: ocurren 460.000 muertes anuales causadas por material particulado suspendido (exposiciones urbanas en el exterior).
- Se estima que por cada aumento en  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración diaria de PM10 la tasa de muerte aumenta en 1%.
- Estudios han confirmado que un aumento en  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de las concentraciones promedios de PM2,5 en el rango de vida, genera un aumento en las tasas de muerte anuales en un 15%.

3) *Luis A. Cifuentes, Jeanette Vegas, et al. Effect of Fine Fraction of PM versus Coarse Mass and Other Pollutants on Daily Mortality in Stgo, Chile. Journal of the Air and Waste Management Association, Vol. 50, August 2000.*

→ Se han encontrado relaciones estadísticas significativas entre la mortalidad diaria de Santiago entre 1988-1996 y PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>.

→ Se estudió la relación entre combinaciones de contaminantes con la mortalidad en Santiago.

→ Existen combinaciones de contaminantes que producen efectos más riesgosos para la salud que otras. La combinación de contaminantes de mayor riesgo es PM<sub>10</sub> - CO, seguido de O<sub>3</sub> - SO<sub>2</sub>.

→ La correlación entre contaminación por PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> y mortalidad es positiva.

# **RIESGOS DE LOS CONTAMINANTES NORMADOS**

## **OZONO (D.S. 112)**

Gran capacidad oxidante, puede penetrar los tejidos de la región pulmonar, produce cambios en la función pulmonar, alteración en las vías respiratorias, irritación de ojos.

Los efectos del  $O_3$  sobre la salud se asocian a exposiciones de 6 a 8 hrs.

## **DIÓXIDO DE AZUFRE (D.S. 113)**

Es un importante broncoconstrictor, produce efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas.

## **DIÓXIDO DE NITRÓGENO (D.S. 114)**

Produce efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas, amplio rango de efectos sobre la población asmática, causa irritación en los pulmones, reduce la resistencia ante infecciones respiratorias.

## **MONÓXIDO DE CARBONO (D.S. 115)**

La exposición al CO se evalúa a través de los niveles de carboxyhemoglobina (COHb). No se debiera exceder el nivel de 2,5 % de (COHb) en la sangre. Causa problemas cardiovasculares y respiratorios.

## **MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE PM10 (Decreto 45)**

Efectos crónicos sobre la salud de las personas.

El riesgo de cáncer aumenta cuando existe exposición prolongada a partículas de menor diámetro y más tóxicas. Los procesos de combustión generan material particulado con esas características.



*Aún es necesario aumentar los esfuerzos para dar cumplimiento a las normas de calidad de aire.*

*El desafío principal es controlar el PM10, el PM2,5 y contaminantes gaseosos como el O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>.*

*Las principales metas del PPDA son:*

*1) Terminar con las preemergencias ambientales - 2005*

*2) Cumplir con las normas de calidad ambiental - 2010*



## Conclusiones principales

➤ Si bien los progresos son innegables, todavía estamos a mitad de camino. .

➤ La calidad ambiental f(múltiples aspectos). Calidad del aire es uno, visibilidad, contaminación aguas, ruido, el manejo de la basura y los residuos; y otros. Congestión, calidad del transporte público, tiempos de viaje, áreas verdes y otros.

➤ Los distintos aspectos anteriores están relacionados, pero cada uno debe abordarse según su propio mérito. Contaminación por emisiones de transporte público, => regularlas directamente. Si el problema es congestión, lo mismo (error mezclar congestión con contaminación -se mantiene la restricción en meses en los cuales se cumplen las normas de calidad ambiental-

## Conclusiones principales

- Aún queda bastante por hacer para disminuir el MP, pues las normas todavía se exceden en 50%. El foco se desplazará a los gases. Se ha mantenido CO y de NO<sub>x</sub>. O<sub>3</sub> ha aumentado y supera norma.
- Composición de MP ha cambiado, con mayor participación de contaminantes secundarios, tales como los nitratos, sulfatos y amoníaco. Estos contaminantes forman parte del PM<sub>2,5</sub>. Se debe regular precursores (gases que no superan norma).
- Existe una restricción fundamental. La emisión total de un contaminante es igual a la suma de las emisiones de las distintas fuentes. Se requiere disminuir la suma total de las emisiones para cumplir con las metas.

## Conclusiones principales

- Esta restricción obvia se olvida constantemente cuando se diseñan políticas de control de la contaminación. Política vigente no limita entrada de vehículos ni kilómetros recorridos y tampoco impone normas de emisión más estrictas.
- La misma situación se repite con las emisiones de las residencias.
- Aquellas políticas que no disminuyan las emisiones totales están condenadas al fracaso. Por lo tanto, cualquier política de control de la contaminación que se adopte debe considerar reducir la masa emitida y para eso se deben controlar las emisiones unitarias, el número de fuentes o el nivel de actividad de cada fuente o una combinación de todas ellas.

## Conclusiones principales

- Lo que viene es más difícil y costoso. De ahí que sea tan importante aumentar la eficiencia de las acciones para reducir la contaminación. Para eso se necesita mejorar la calidad de la información sobre la contaminación; reconocer, que en Santiago hay varias ciudades; extender los instrumentos de mercado, y mejorar las instituciones encargadas de la contaminación.
- El esfuerzo de CONAMA por mejorar los inventarios de emisiones ha sido importante pero insuficiente. Se necesitan inventarios más completos y transparentes que se hagan cargo de las variaciones estacionales y espaciales de las emisiones.



# Conclusiones principales

- Mejoramiento de la información puede resultar en que el problema “empeore” (ampliación cobertura espacial de la red).
- La contaminación en Santiago varía a lo largo del año y es más baja en verano (con la excepción del O<sub>3</sub>), aunque las emisiones varían mucho menos. Esto permitiría generar políticas diferenciadas que incentiven al desarrollo de actividades en verano en vez de en invierno, momento en el cual seguramente se podrían concentrar las vacaciones y las mantenciones.
- Una situación similar ocurre con la distribución espacial de la contaminación por PM<sub>10</sub>. No hay todavía una buena explicación de estas diferencias (se debería invertir en estudiarlas). Si la causa de la mayor contaminación en Pudahuel es local, sería un contrasentido imponerle costos importantes al resto de la ciudad. CONAMA debe invertir en estudiar y focalizar las acciones de control específico de esos episodios. Éstas pueden ir desde controlar las emisiones locales hasta apoyar a los más vulnerables, niños y ancianos.

## Conclusiones principales

➤ Se deben generalizar los instrumentos de mercado. Las políticas se han caracterizado por una dualidad conceptual importante y se necesitan cambios institucionales importantes. Instrumentos de mercado tales como los permisos de emisión transables y la fiscalización rápida y oportuna requieren que se cambie el esquema actualmente vigente.

## Conclusiones principales

➤ ¿Qué implica todo esto para las políticas urbanas? La capacidad de absorción de contaminantes tiene un límite natural en el desarrollo de actividades emisoras en la RM (background es importante). Una vez que los vehículos y los hogares internalicen los costos ambientales, las consecuencias seguramente afectarán a la estructura de la ciudad. Los costos de transporte no estarán dados solamente por el costo del combustible, sino que también por la disponibilidad de cuotas de emisión. Así, por lo tanto, medios de transporte tales como trenes eléctricos, trolebuses, vehículos híbridos o de gas podrían comenzar a competir sin necesidad de subsidios. Para el sector residencial las implicancias son dobles. Por una parte, su localización determinará los costos de transporte y por otra está la elección de la mezcla de combustibles que utilizará.

## Conclusiones principales

➤ Es indispensable que lo realizado sea comprendido por la población. CONAMA y el resto del gobierno deben aumentar significativamente la transparencia y esforzarse en explicar bien en qué consiste el problema, qué se ha logrado y qué es necesario hacer para seguir mejorando. La contaminación es un problema difícil y sofisticado pero puede ser explicado. No es justo que después de 10 años de éxito relativo la población siga sin comprender los fenómenos básicos que originan el problema, no aprecie las mejoras notorias de la calidad del aire y, peor aún, crea que el problema ha ido empeorando.

