

## Contaminación Atmosférica (2008/09)

Profesores:

- Bruno Martínez Haya Despacho 10, tercera planta, edificio 22.  
Tutorías, Lunes a Miércoles: 12:30-13:30, Jueves: 10:00 a 13:00
- Patrick J. Merkling. Despacho 11, tercera planta, edificio 22.  
Tutorías, Lunes, Martes: 12:30-14:30, Jueves: 17:00 a 19:00

PÁGINA WEB:

[http://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/prog\\_CA.html](http://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/prog_CA.html)

# CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

## Programa de Teoría

Tema 1 Introducción a la Contaminación Atmosférica

Tema 2 Modelos de concentración de contaminantes atmosféricos

Tema 3 Fundamentos de Fotoquímica atmosférica: ozono estratosférico

Tema 4 Contaminación Troposférica I: fotoquímica, ozono urbano, partículas

Tema 5 Contaminación Troposférica II: lluvia ácida, efecto invernadero

Tema 6 Contaminación en Espacios Cerrados

Tema 7 Medida de la Contaminación Atmosférica I

Tema 8 Medida de la Contaminación Atmosférica II

Tema 9 Métodos de Control de Emisiones I

Tema 10 Métodos de Control de Emisiones II

## Método de trabajo:

- Reparto de diapositivas (página web, copistería)
- Explicación razonada en clase de cada uno de los conceptos teóricos
- Propuesta y resolución en clase de problemas prácticos

## Sugerencias de estudio:

- Asistir a clase y TOMAR APUNTES
- Preguntar en clase (las interrupciones son bienvenidas)
- Intentar resolver los problemas propuestos: AL MENOS UNO DE LOS PROBLEMAS DE EXAMEN SERÁ IGUAL O MUY SIMILAR A LOS DE LAS HOJAS DE PROBLEMAS
- Asistir a tutorías

## Programa de Prácticas

1-Modelo gaussiano de dispersión de contaminantes

(3-5 Marzo, QF)

2- Determinación de contaminantes por espectroscopia infrarroja  
(31 marzo-2 abril, QF)

3-Absorción de efluentes gaseosos

4-Simulación de un ciclón

5-Determinación de oxidantes totales en aire (19-21 mayo, QF)

Uso obligatorio de la bata

## Método de trabajo:

- Reparto de un guión de prácticas (Web, copistería)
- Trabajo individual o por parejas en el aula de informática y en el laboratorio conforme al guión de la práctica

Realización de informes individuales de cada práctica

## Sugerencias de estudio:

- Realizar todas las tareas requeridas en el guión
- Anotar los resultados (cuaderno de prácticas)
- Anotar conclusiones principales (cuaderno de prácticas)
- Asistir a tutorías

## ¡ Para aprobar la asignatura !

1- Examen de teoría:

preguntas tipo test + pregunta teórica corta + 2 problemas

2- Para aprobar las prácticas:

- Asistencia y realización obligatoria de todas las prácticas.
- Examen de prácticas, con la ayuda del cuaderno de prácticas (se podrá requerir el cuaderno en caso de duda acerca de la calificación)

3- **Nota final =  $0.67 \times \text{teoría} + 0.33 \times \text{prácticas}$**

4- Nota mínima de compensación: 4.5\* tanto en teoría como en prácticas

\*Existe la posibilidad de realizar un trabajo antes del examen. A elegir entre varias opciones. Estará disponible en breve. Fecha de entrega de los trabajos: antes del 18 de Mayo.

## Bibliografía

### Manuales de Química y Contaminación Atmosférica

FIGUERUELO, J. E.; DÁVILA, M. M.: *Química Física del Medio Ambiente*, ed. Reverté, 2001.

CONNELL, Des W., *Basic Concepts of Environmental Chemistry*, CRC Press, 1997.

BRASSEUR, G.P., ORLANDO, J.J., Y TYNDALL, G.S., (ed.)  
*Atmospheric Chemistry and Global Change*. Oxford University Press.  
New York 1999.

BAIRD C., *Environmental Chemistry*. W.H. Freeman and Co. 1ª edición,  
4ª reimpresión. New York 1998. (Manual soluciones: *Environmental chemistry: solutions manual*, 1999). Traducción: *Química Ambiental*,  
ed. Reverté, 2001

Manuales de Análisis y Control de  
contaminantes Atmosféricos

de NEVERS, N., *Ingeniería de Control de  
la Contaminación del Aire*, McGraw-Hill,  
México, 1998

HEINSOHN, R. J. y KABEL, R., L.,  
*Sources and Control of Air Pollution*,  
Prentice Hall, 1999

RUBINSON, K.A., RUBINSON, J.F.,  
*Análisis Instrumental*. Prentice Hall,  
Madrid 2001

KEBBEKUS, B. B. Y MITRA, S.,  
*Environmental Chemical Analysis*, Blackie  
Academic&Profesional, 1998

# Tema 1: Introducción a la Contaminación Atmosférica

¿Qué se entiende por contaminación atmosférica?

Contaminación Atmosférica =

Presencia de material  
perjudicial o  
indeseable en el aire

+ Cantidad suficiente →

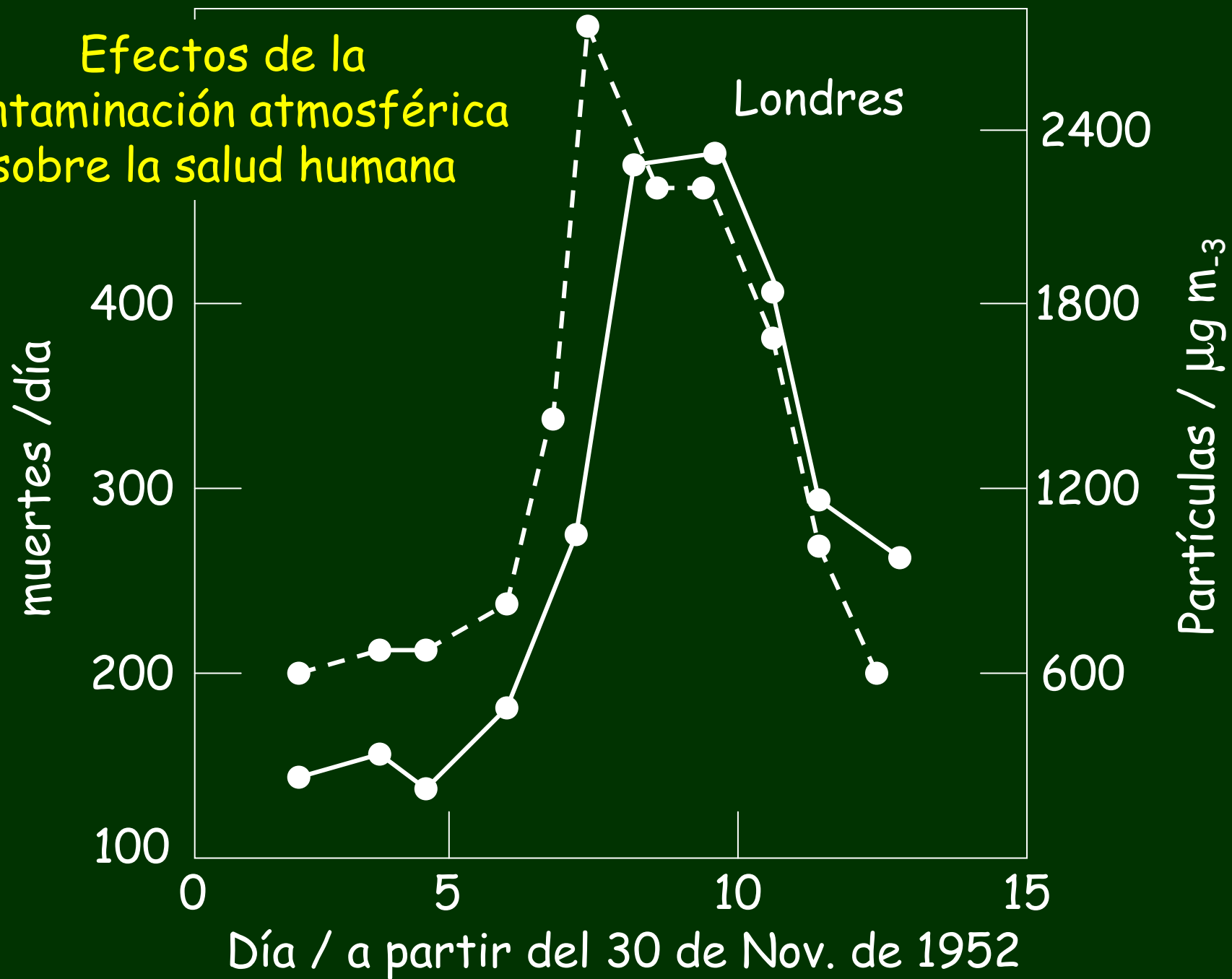
Efectos  
Nocivos

↗  
Causas  
Naturales

↖  
Causas  
Artificiales

- ↓
- Salud humana
  - Vegetación
  - Bienes
  - Medio Ambiente global

# Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud humana



# LA CALIDAD DEL AIRE URBANO

La contaminación atmosférica causa en Europa 350.000 muertes prematuras al año. De ellas, 16.000 corresponden a España.\*

\* Programa CAFÉ: "Clean Air for Europe"; <http://ec.europa.eu/environment/air/cafe/index.htm>

## EL PROYECTO EMECAS: PROTOCOLO DEL ESTUDIO MULTICÉNTRICO EN ESPAÑA DE LOS EFECTOS A CORTO PLAZO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD

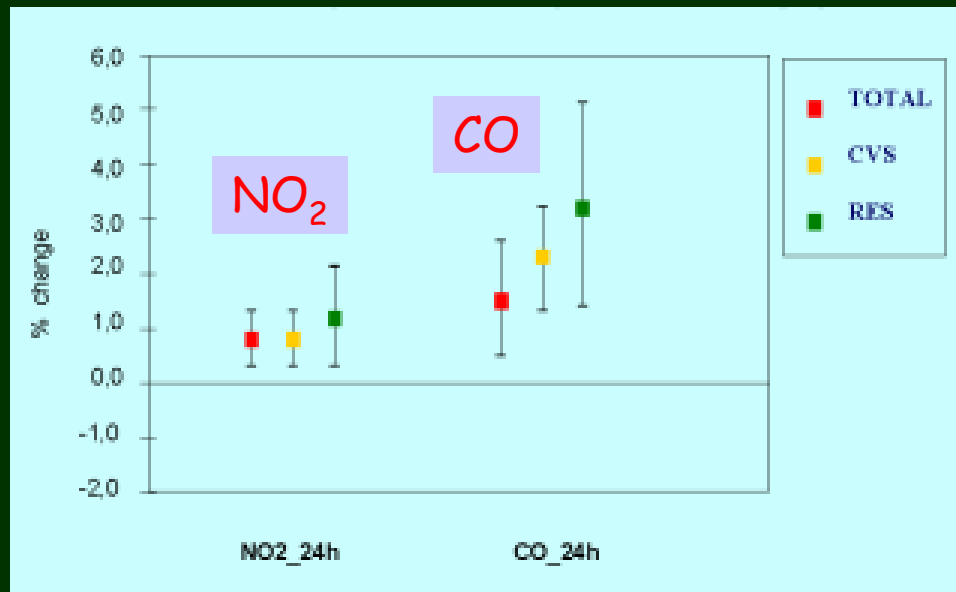
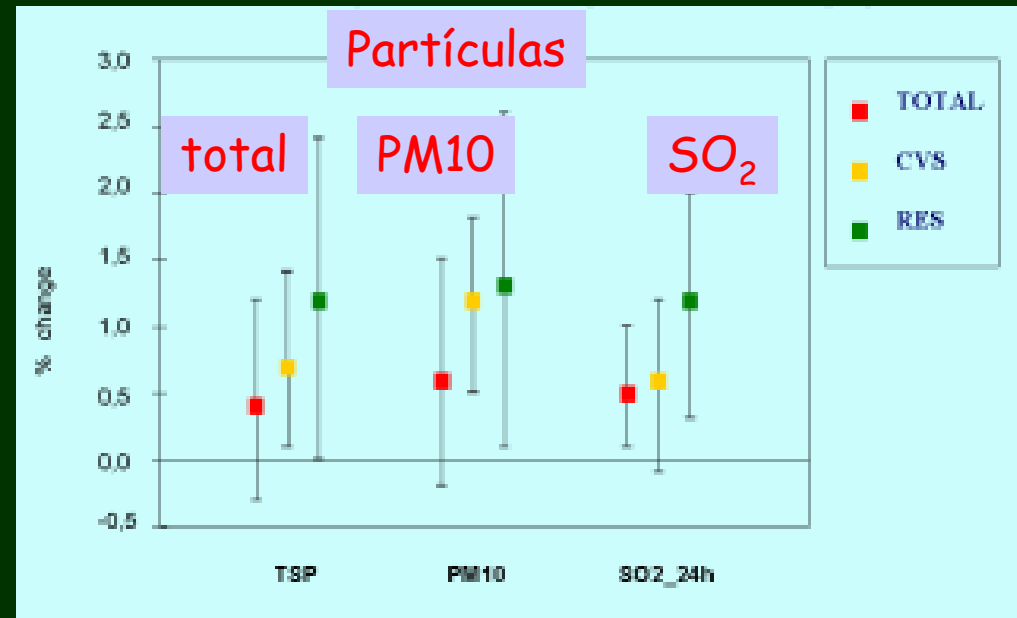
### Proyecto EMECAS (2004)

Ferrán Ballester (1), Marc Saez (2), Antonio Daponte (3), Jose María Ordóñez (4), Margarita Taracido (5), Koldo Cambra (6), Federico Arribas (7), Juan B Bellido (8), Jesús J Guillén (9), Inés Aguinaga (10), Álvaro Cañada (11), Elena López (12), Carmen Iñiguez (1), Paz Rodríguez (1), Santiago Pérez-Hoyos (1), María Antonia Barceló (2), Ricardo Ocaña (3) y Emiliano Arán-guez (4) en nombre del grupo EMECAS.

- (1) Escuela Valenciana de Estudios para la Salud (EVES). Conselleria de Sanidad. Generalitat Valenciana
- (2) Grup de Recerca en Estadística, Economia Aplicada i Salut (GRECS), Universitat de Girona
- (3) Escuela Andaluza de Salud Pública (EASP), Granada
- (4) Dirección General de Salud Pública. Comunidad de Madrid
- (5) Departamento de Medicina Preventiva, Universidad de Santiago de Compostela
- (6) Dirección General de Sanidad del Gobierno Vasco, Vitoria
- (7) Departamento de Sanidad, Bienestar y Trabajo, Diputación General de Aragón, Zaragoza:
- (8) Centro de Salud Pública de Castellón. Generalitat Valenciana
- (9) Centro de Área de Salud Pública de Cartagena, Gobierno Autónomo, Comunidad de Murcia
- (10) Servicio de Epidemiología, Ayuntamiento de Pamplona,
- (11) Dirección General de Salud Pública Gobierno Autónomo, Asturias
- (12) Dirección General de Salud Pública. Consejería de Sanidad de Canarias

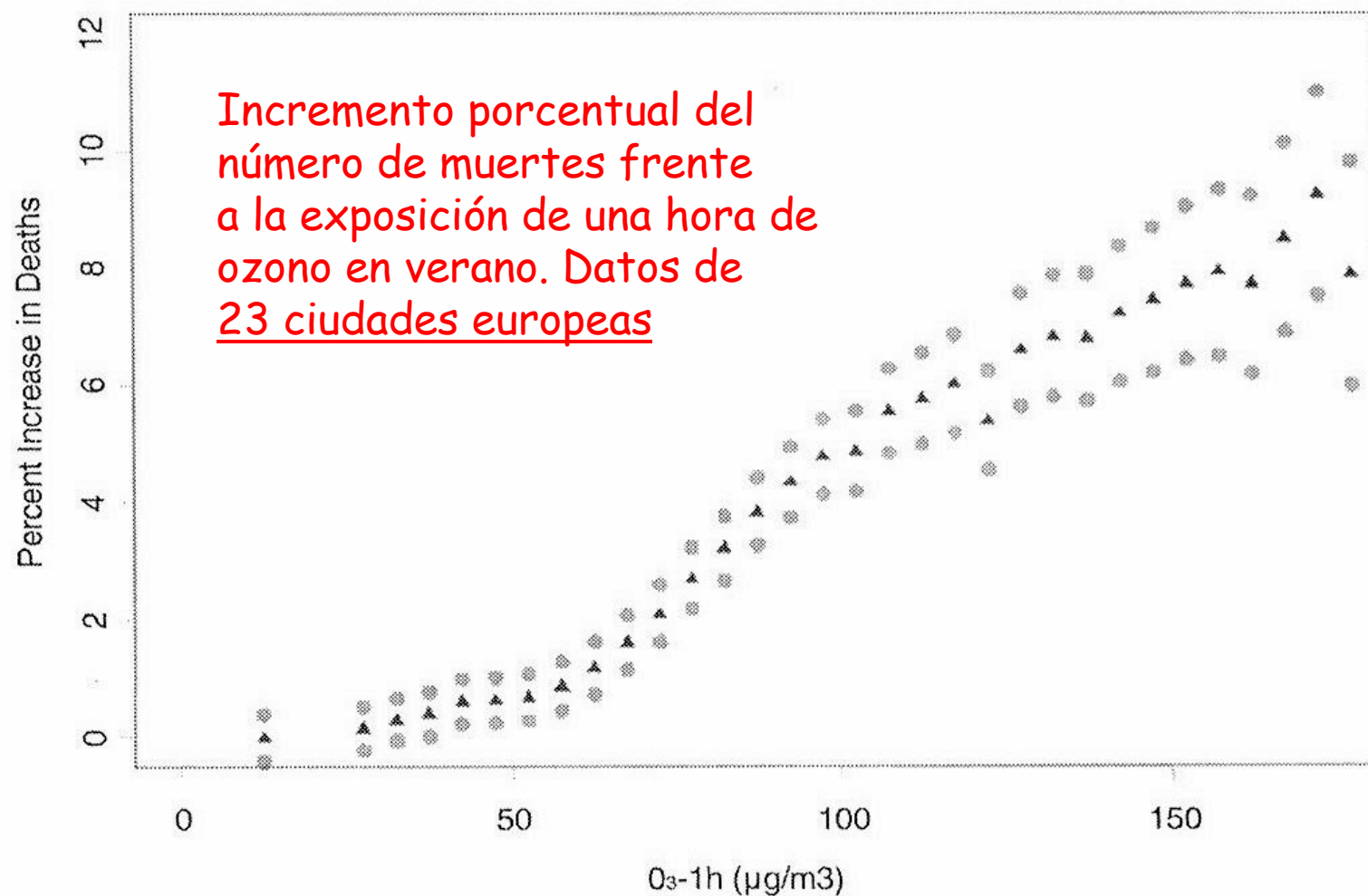
## Proyecto EMECAS (2004)

Relación entre incremento en la mortalidad y niveles de contaminación



Datos de incremento de mortalidad para 13 ciudades españolas para un cambio de concentración de 10 µg/m<sup>3</sup> en varios contaminantes (TSP = número total de partículas, PM10, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>)

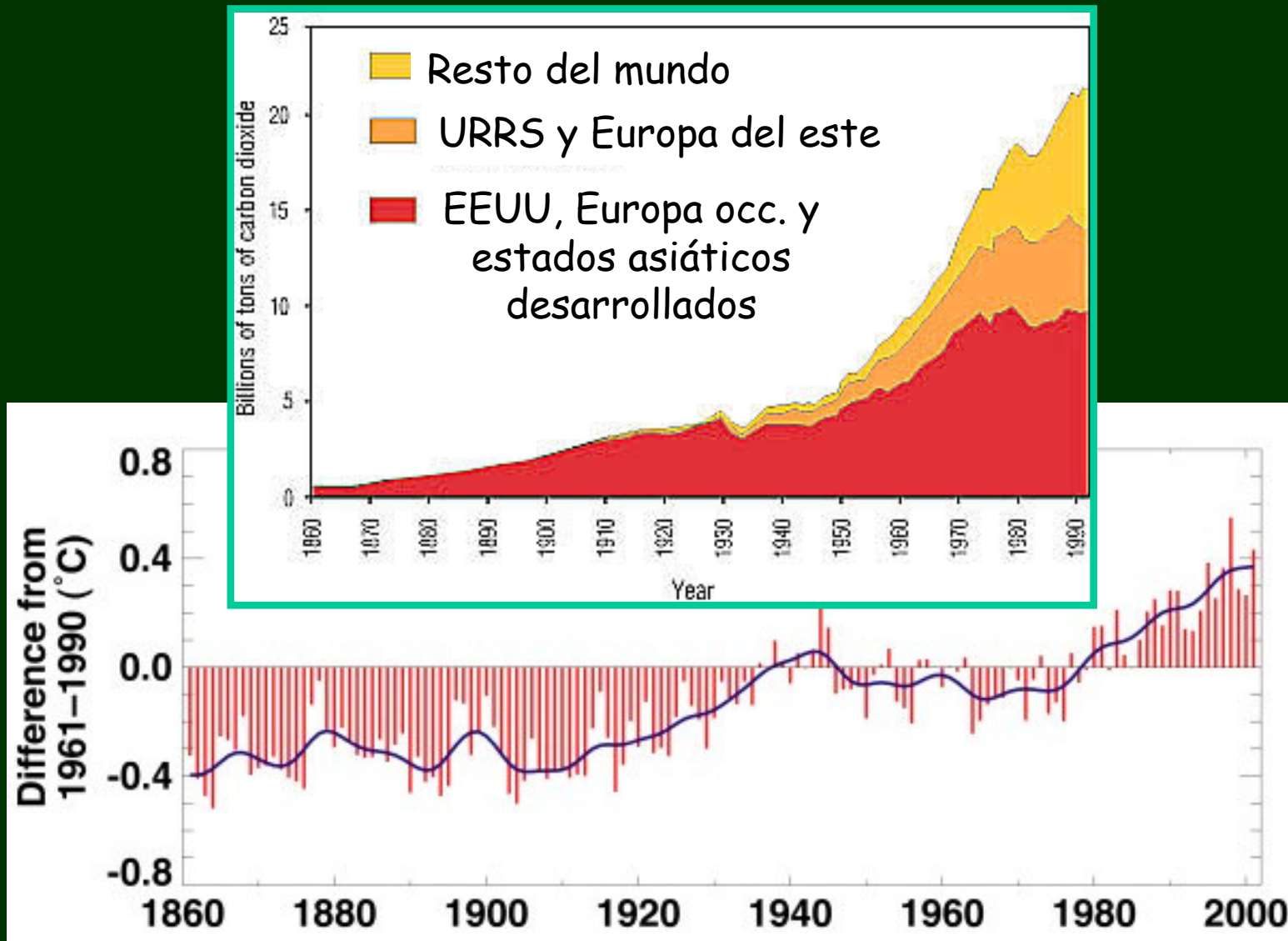
## Proyecto APHEA3 (2004)



## Problemas principales.

- Incremento de la concentración de oxidantes troposféricos (ozono principalmente) y su efecto sobre la salud humana
- Degradación general de la calidad del aire (partículas, compuestos orgánicos volátiles, etc...)
- Cambio climático (calentamiento global) resultado del incremento en las emisiones de  $\text{CO}_2$  y otros gases de efecto invernadero
- Lluvia ácida y su efecto sobre la vegetación
- Reducción de los niveles de ozono estratosférico, con el consiguiente incremento de la radiación ultravioleta que llega a la superficie.
- Otros efectos "menores" de la contaminación urbana/industrial: efecto sobre el patrimonio, sobre la visibilidad durante el día, etc...

## Efectos de la C.A. sobre el medio ambiente global



Fuente: World Meteorological Organization

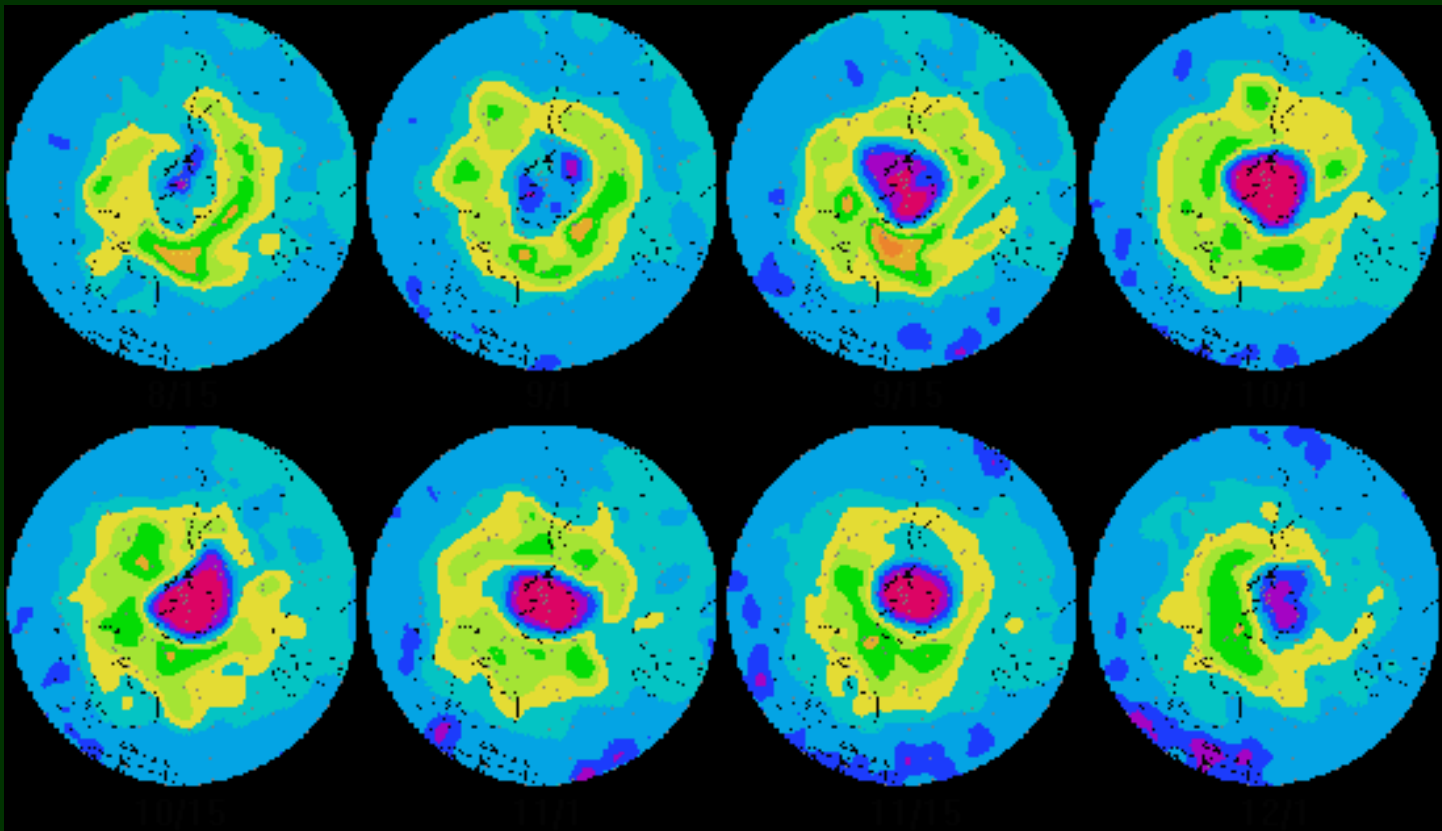
## El agujero de ozono

15 agosto

1 septiembre

15 sept.

1 octubre



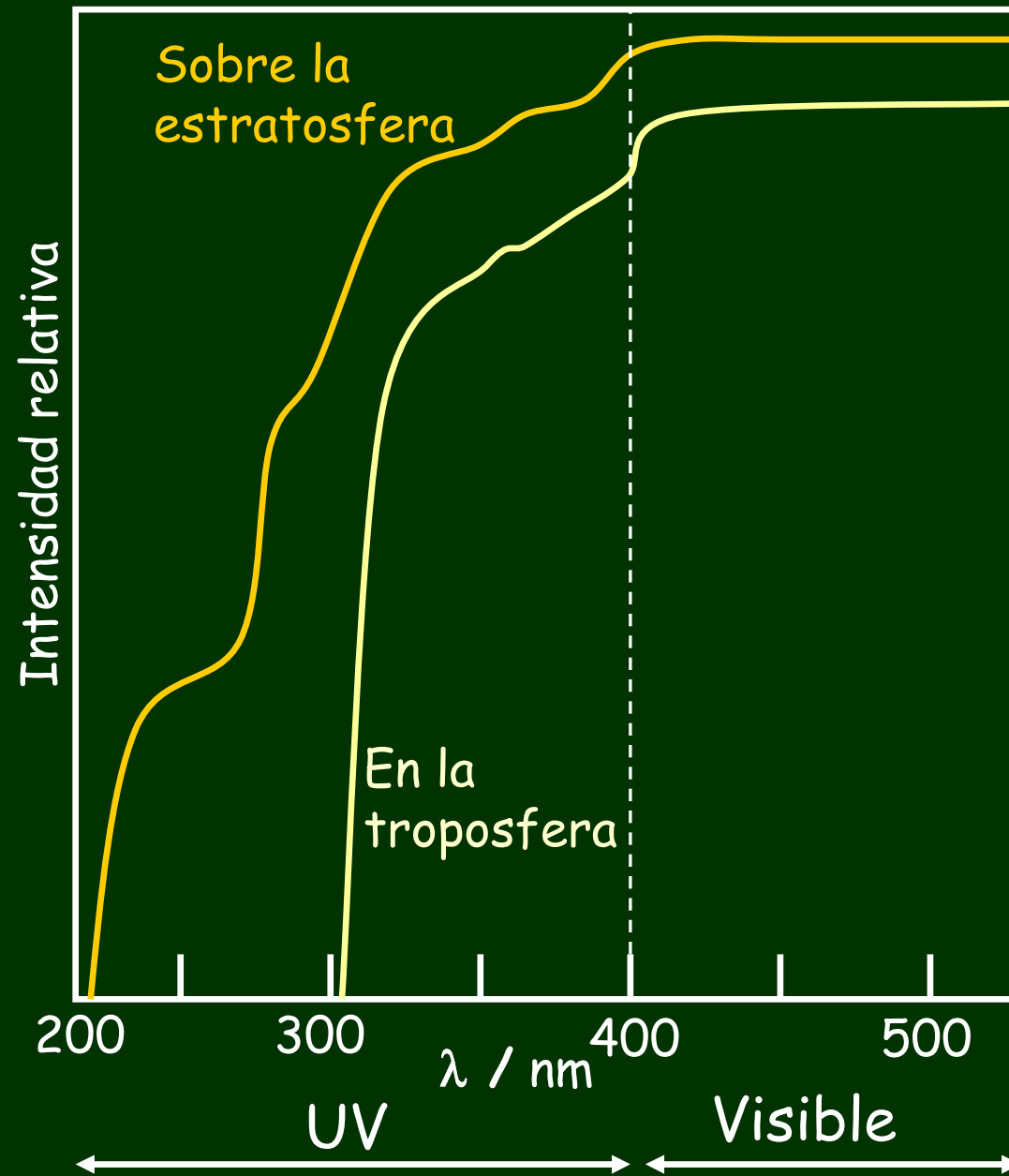
15 octubre

1 noviembre

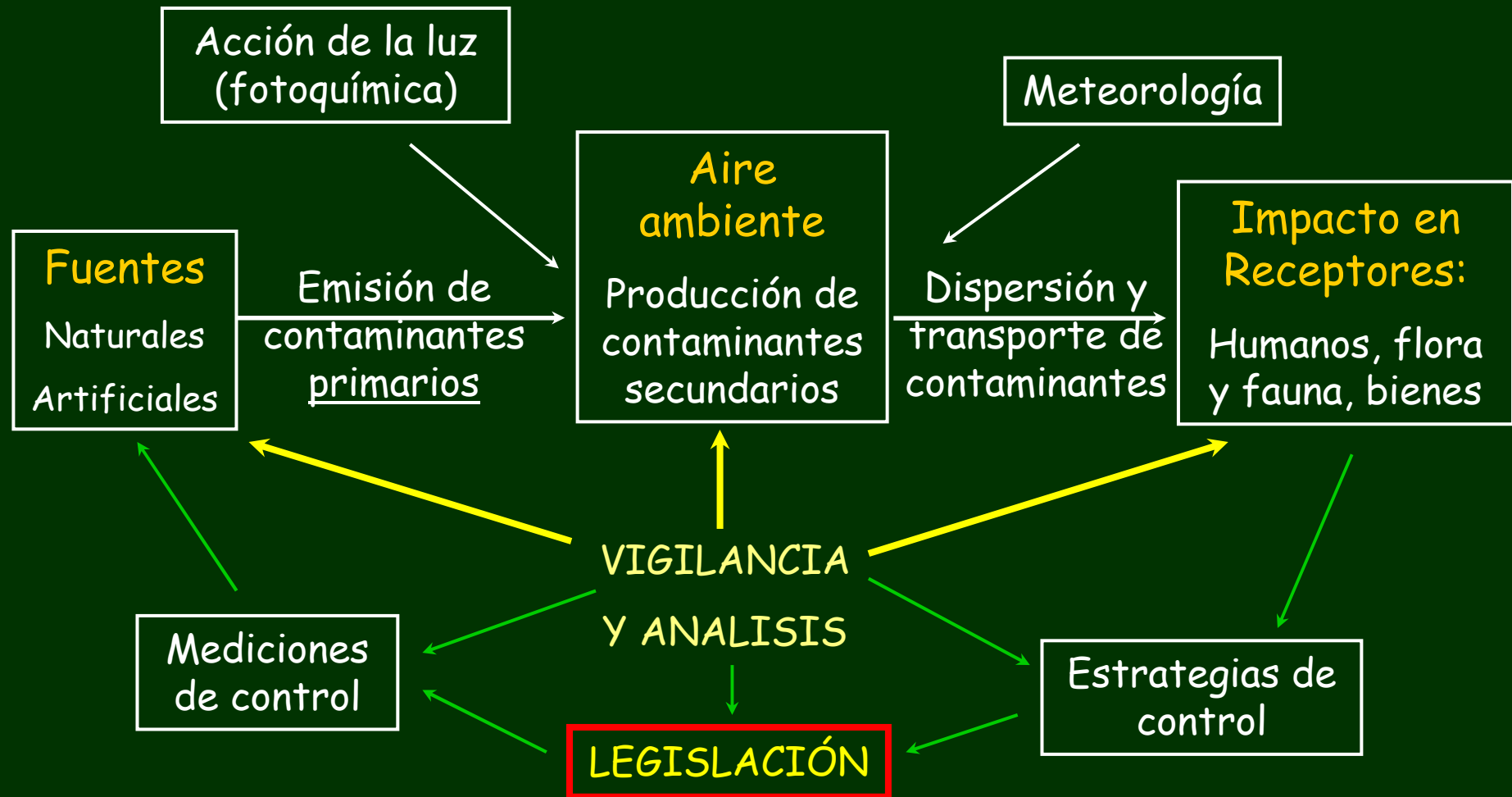
15 nov.

1 diciembre

# Absorción de luz en la atmósfera



## Esquema de análisis y control de la contaminación del aire



# Atmósfera y principales sustancias contaminantes

## Composición y estructura de la atmósfera

| Componente      | % en Volumen |                           |
|-----------------|--------------|---------------------------|
| N <sub>2</sub>  | 78.085       |                           |
| O <sub>2</sub>  | 20.946       |                           |
| Ar              | 0.934        | + vapor de agua (0.01-5%) |
| CO <sub>2</sub> | 0.0314       |                           |
| Ne              | 0.00182      |                           |
| He              | 0.00052      |                           |

Otros:

CH<sub>4</sub>, Kr, H<sub>2</sub>, CO, Xe, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>

# Contaminantes primarios y secundarios

1. Primarios : se vierten directamente
2. Secundarios: se forman a partir de los primarios por procesos químicos y fotoquímicos atmosféricos

## PRIMARIOS



Partículas

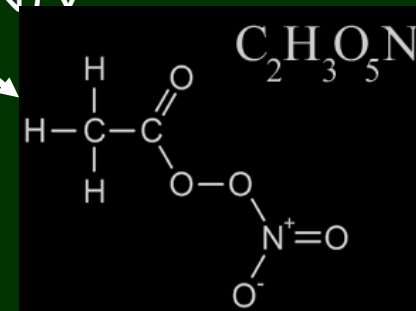
## SECUNDARIOS

Ácidos sulfúrico y nítrico

peroxiacetilnitrato (PAN) y  
relacionados

Ozono

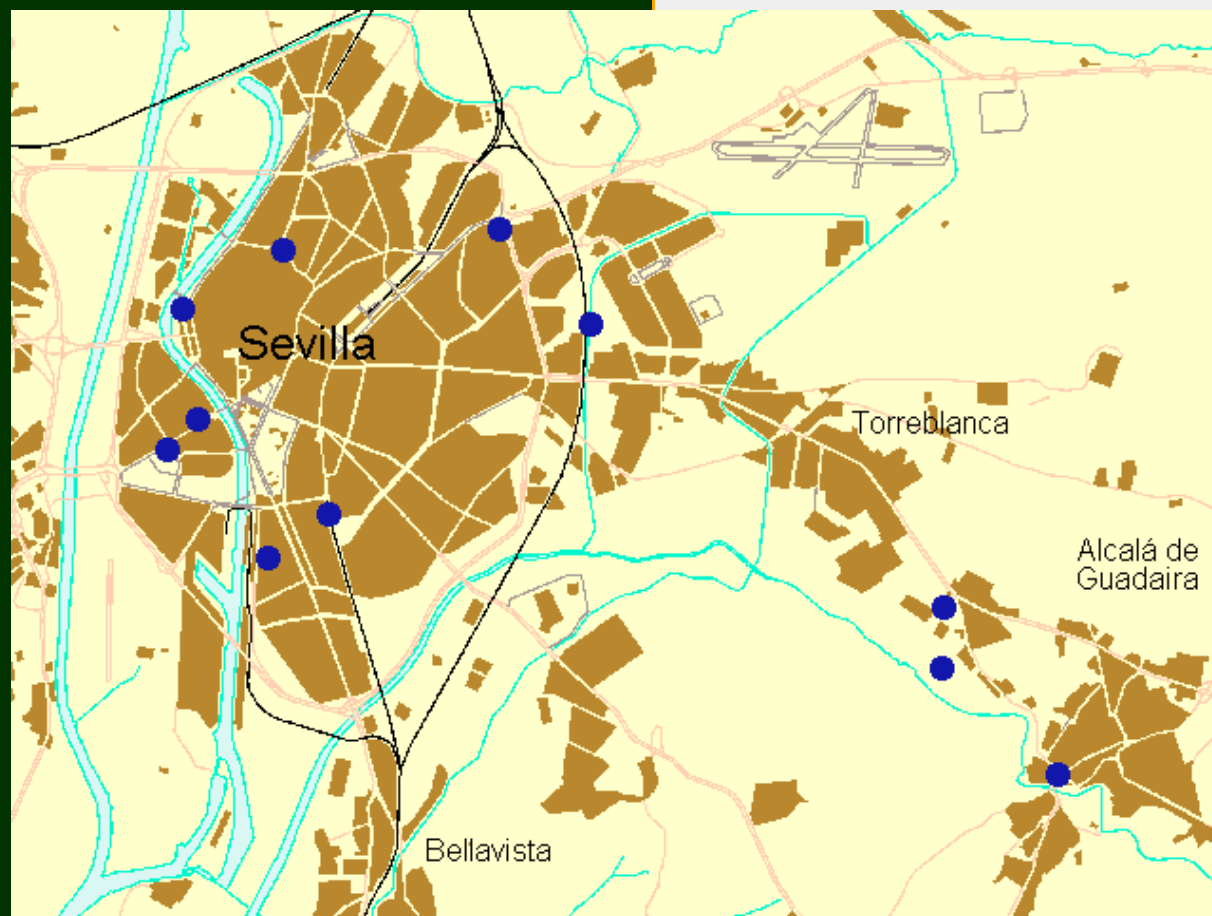
Partículas secundarias



Otros: CFCs, metales pesados (Hg, Pb, Cd) ,  $CO_2$

# Red de vigilancia de calidad del aire de Sevilla

| Contaminante                            | Método analítico(1)        |
|-----------------------------------------|----------------------------|
| <u>SO2 DIOXIDO DE AZUFRE</u>            | FLUORESCENCIA ULTRAVIOLETA |
| <u>CO MONOXIDO DE CARBONO</u>           | ABSORCION INFRARROJA       |
| <u>NO MONOXIDO DE NITROGENO</u>         | QUIMIOLUMINISCENCIA        |
| <u>NO2 DIOXIDO DE NITROGENO</u>         | QUIMIOLUMINISCENCIA        |
| <u>PM10 PART. EN SUSPENSION(&lt;10)</u> | ABSORCION BETA             |





- Es un gas fácil de licuar (P. E.  $-10^\circ\text{C}$ ), polar y soluble en agua.
- Irritante de las vías respiratorias. Precursor en la formación de partículas secundarias (sulfatos) y de lluvia ácida (ácido sulfúrico)

FUENTES NATURALES (~60%): volcanes, descomposición biológica

FUENTES ARTIFICIALES:

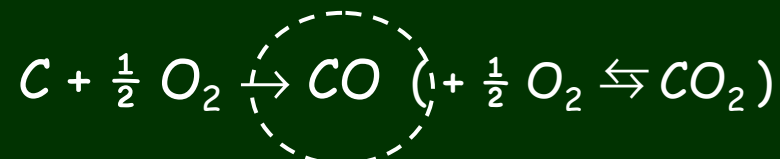
1. Combustión de combustibles fósiles
2. Industrias: fundiciones, refinerías, etc

UMBRAL DE ALERTA:  $500 \mu\text{g} / \text{m}^3$

## CO

- Es un gas incoloro e inodoro de bajo punto de ébullición (-109°C)
- Es muy tóxico. Se combina con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina, lo cual impide la formación de oxihemoglobina, y por tanto el transporte de oxígeno por la sangre.

FUENTE PRINCIPAL: combustión incompleta del carbono:

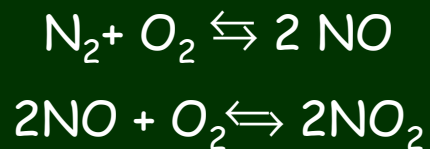


UMBRAL DE ALERTA: 45000  $\mu\text{g} / \text{m}^3$

## NO<sub>x</sub>

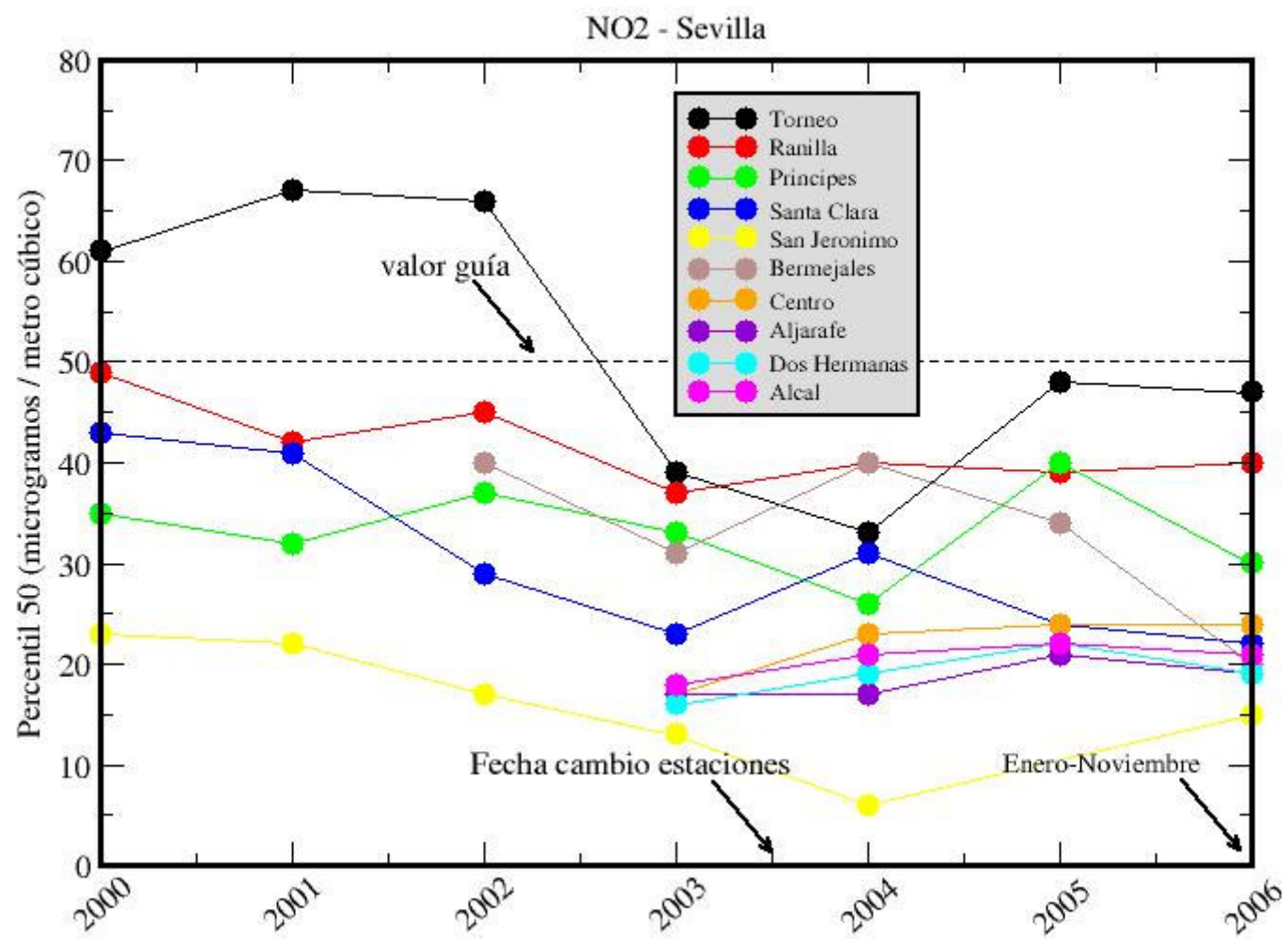
- Son el NO y NO<sub>2</sub> (monóxido y dióxido de nitrógeno). El NO es un gas incoloro, de bajo punto de ebullición (-163°C), incoloro y poco soluble en agua. El NO<sub>2</sub> es un gas de color rojo pardo intenso.
- El NO es inocuo pero el NO<sub>2</sub> es un irritante de las vías respiratorias.
- Los NO<sub>x</sub> son precursores de la formación de ozono en ambiente urbano. También son precursores de la formación de PAN, partículas secundarias y lluvia ácida (ácido nítrico)

FUENTE: combustión a alta temperatura en presencia de aire (N<sub>2</sub>)

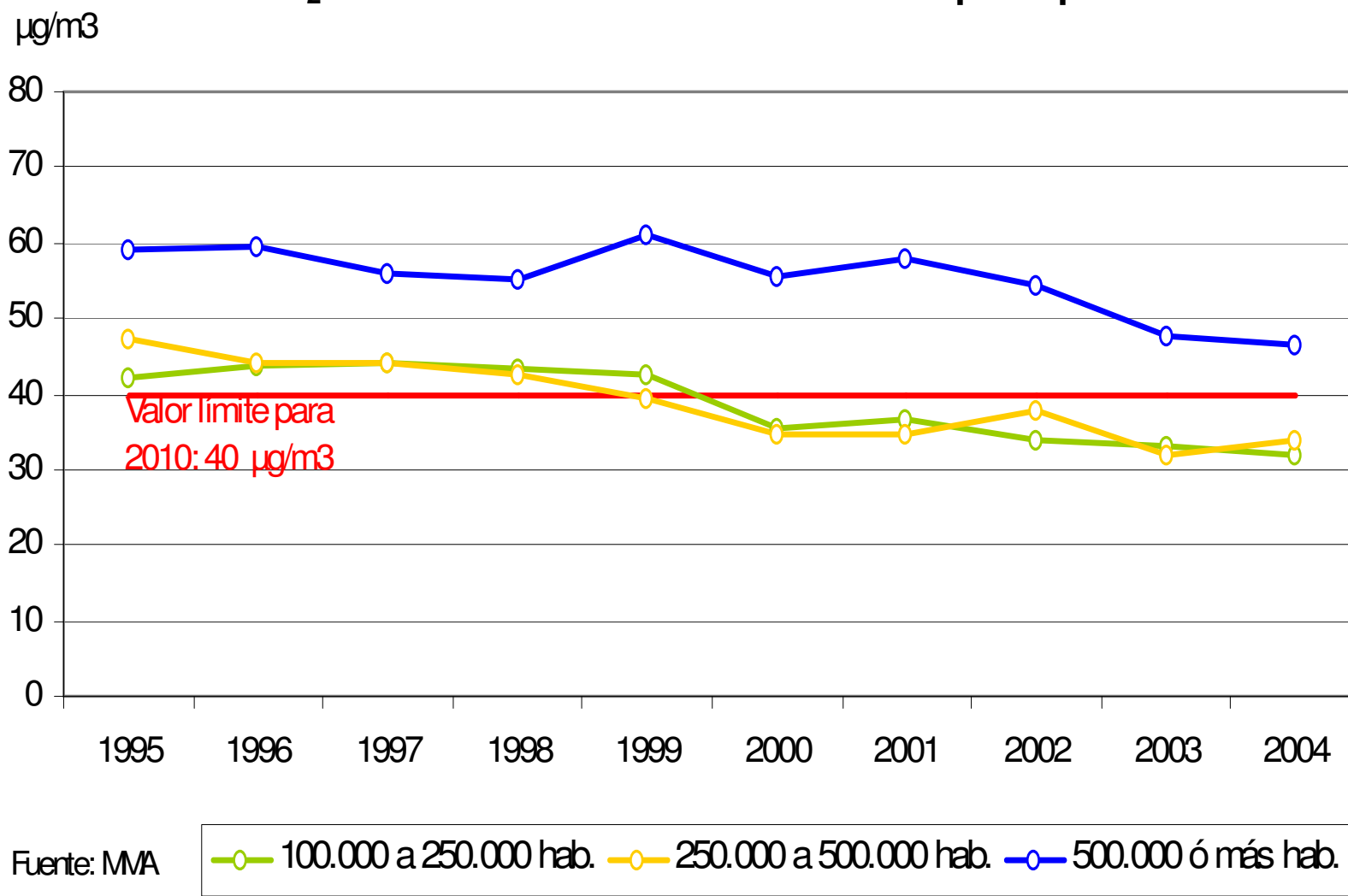


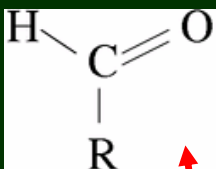
UMBRAL DE ALERTA: 400 µg / m<sup>3</sup>

Valor límite de la media anual: 40 µg / m<sup>3</sup> (2010)

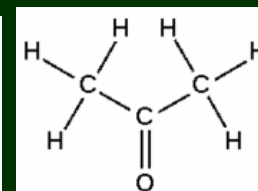
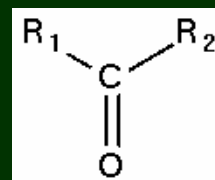


## NO<sub>2</sub>: Concentración media anual en los municipios españoles



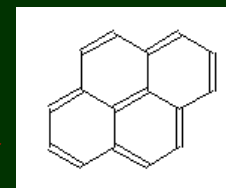


## COV y metano



➤ **Compuestos Orgánicos Volátiles:** hidrocarburos (alcanos, alquenos, aromáticos), aldehídos, cetonas, ácidos, etc... de punto de ebullición menor de 100°C.

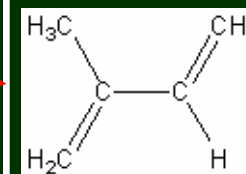
➤ Son precursores de la formación de ozono troposférico. Los compuestos aromáticos, sobre todo los policíclicos, son cancerígenos.



**FUENTES NATURALES:** plantas (isoprenos), microorganismos, insectos (metano)

**FUENTES ARTIFICIALES:**

1. Combustión incompleta (vehículos, calefacciones, etc...)
2. Evaporación combustibles
3. Evaporación disolventes
4. Ganadería extensiva (metano)



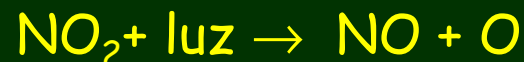
**UMBRAL DE ALERTA: 140000  $\mu\text{g} / \text{m}^3$**

## Ozono

- Forma alotrópica del oxígeno:  $O_3$ . Gas de bajo punto de fusión ( $-112^{\circ}C$ ), de color azulado y olor característico (tormenta).
- Es un poderoso irritante de las vías respiratorias, principal causante de asma en ambiente urbano, incluso en pequeñas concentraciones.

FUENTE NATURAL: fotólisis del  $O_2$  por radiación ultravioleta

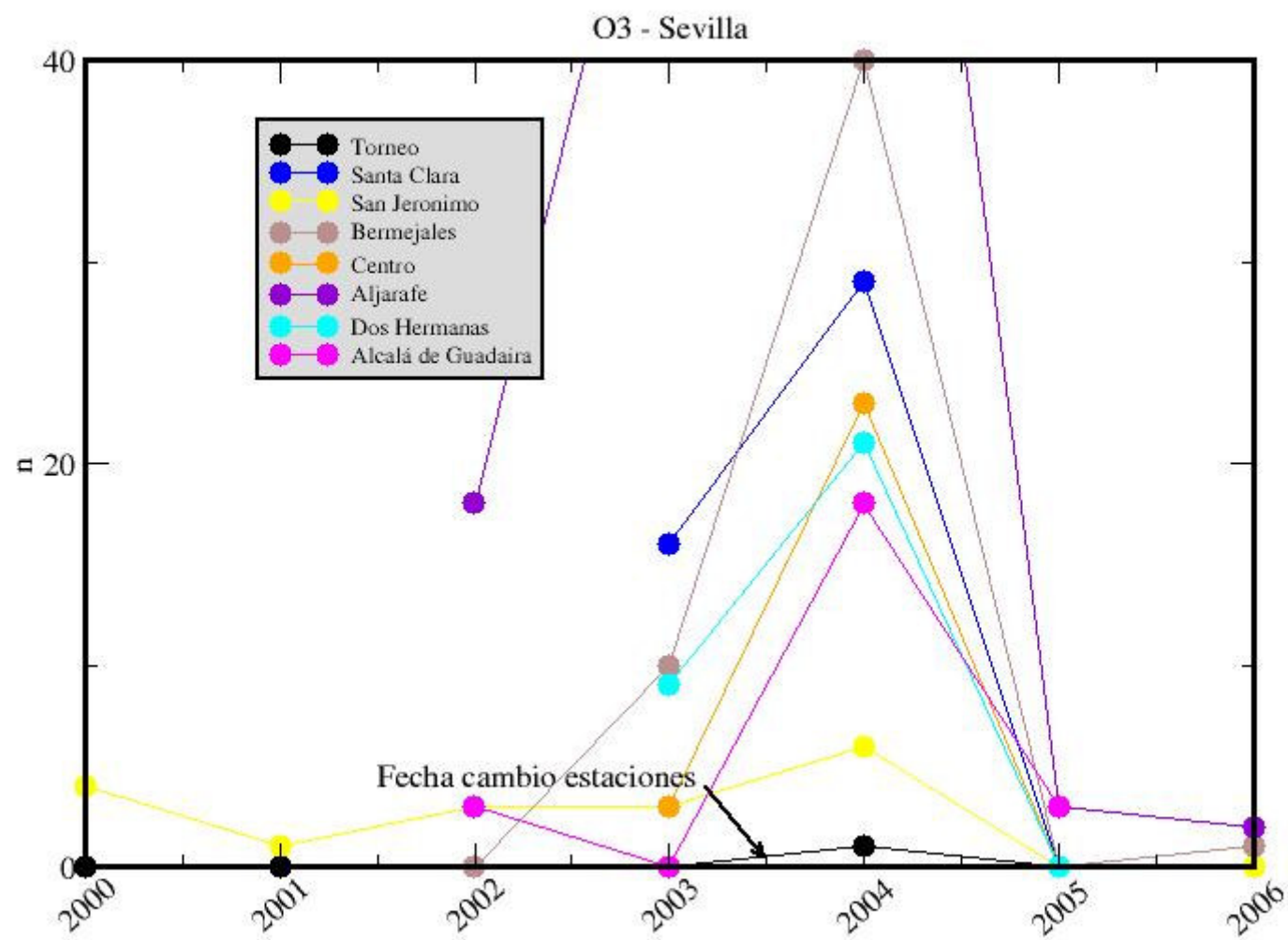
FUENTE ARTIFICIAL: descomposición fotoquímica del  $NO_2$   
(ambiente contaminado urbano)



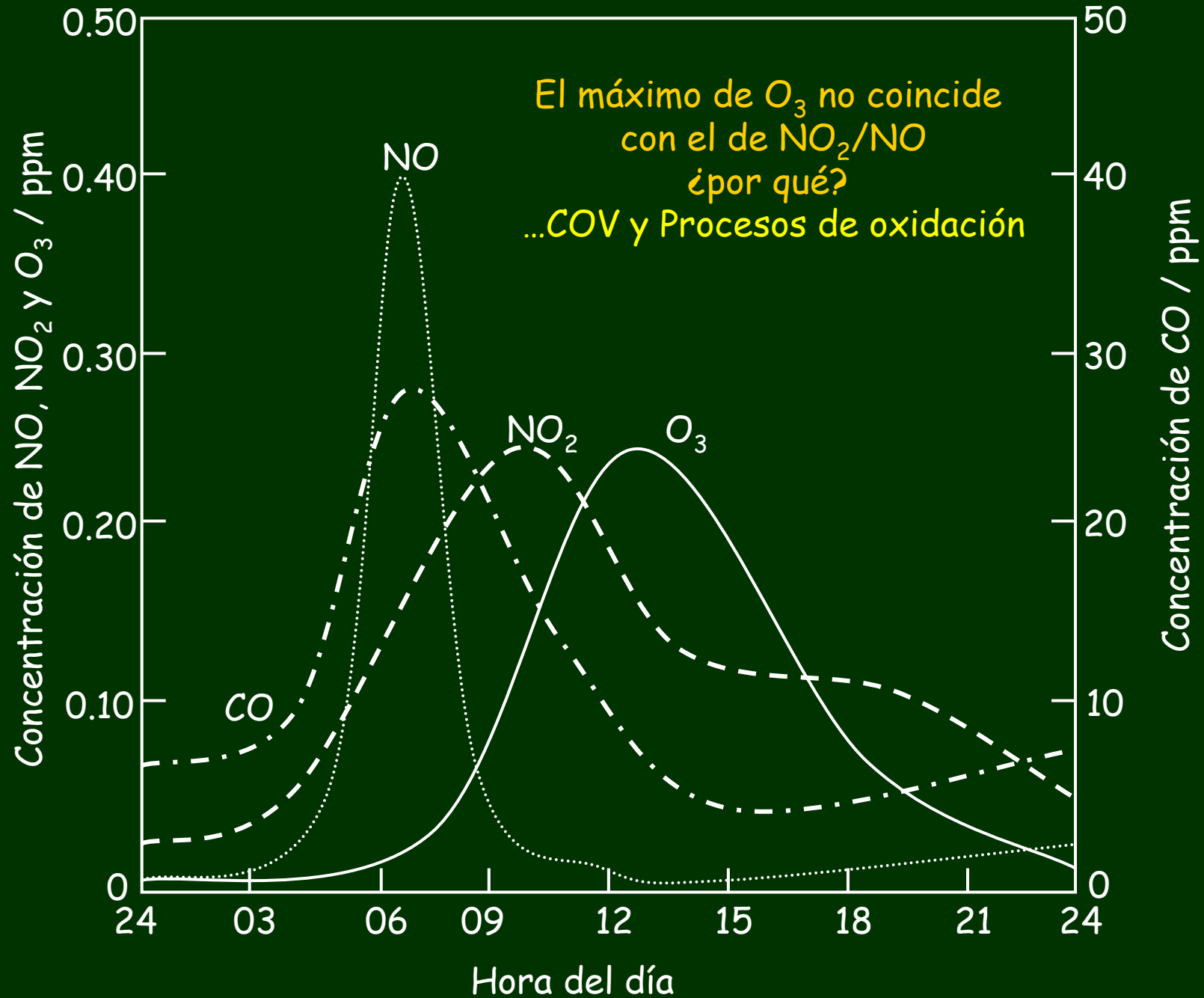
UMBRAL DE ALERTA:  $240 \mu g / m^3$

UMBRAL DE INFORMACIÓN:  $180 \mu g / m^3$

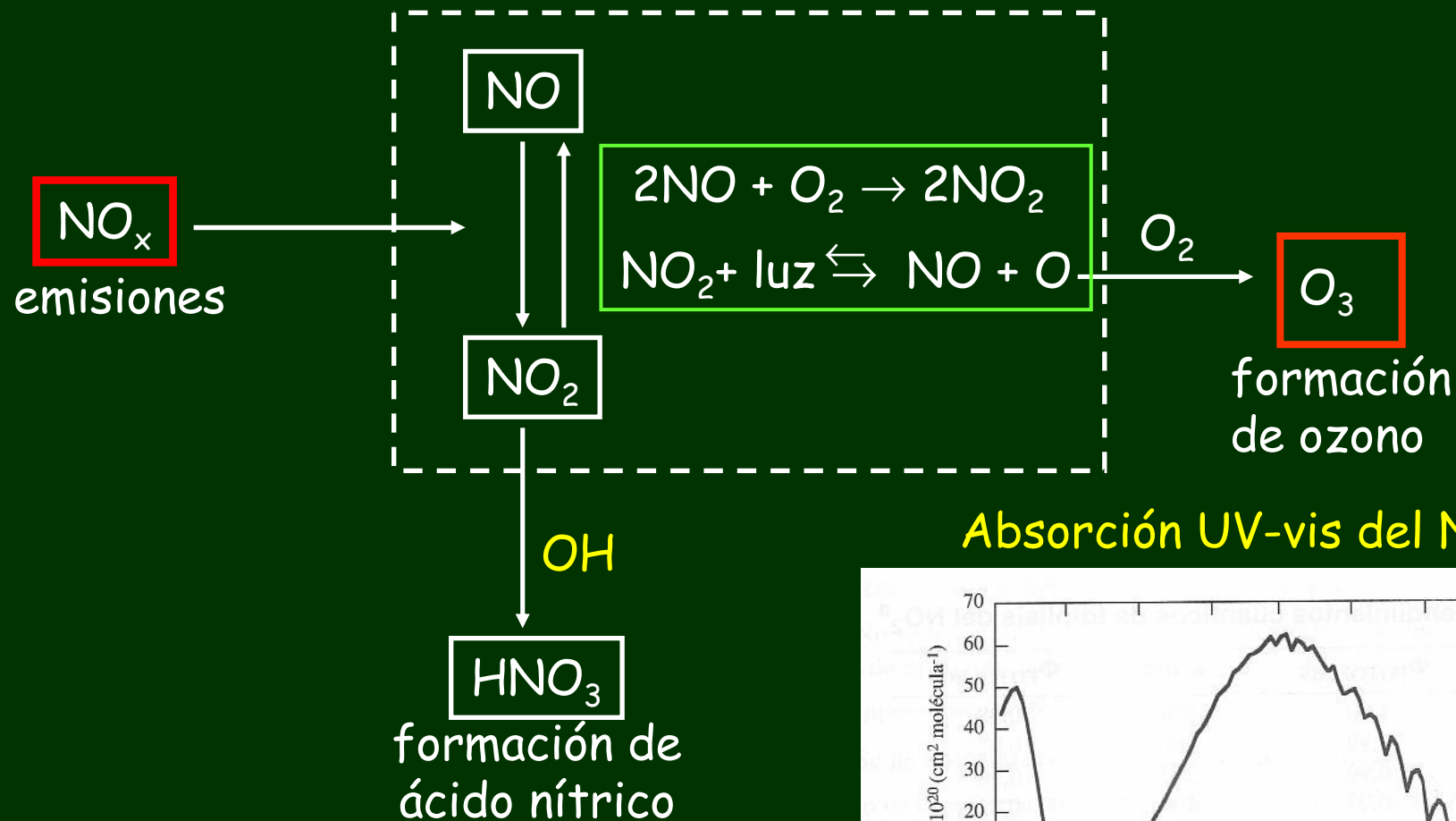
Número de días de alerta por ozono



## Evolución de la concentración de contaminantes urbanos



## Ozono y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):



### Absorción UV-vis del NO<sub>2</sub>

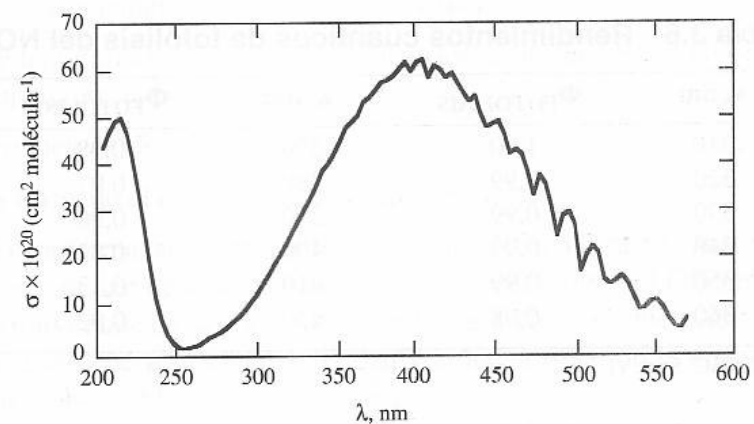
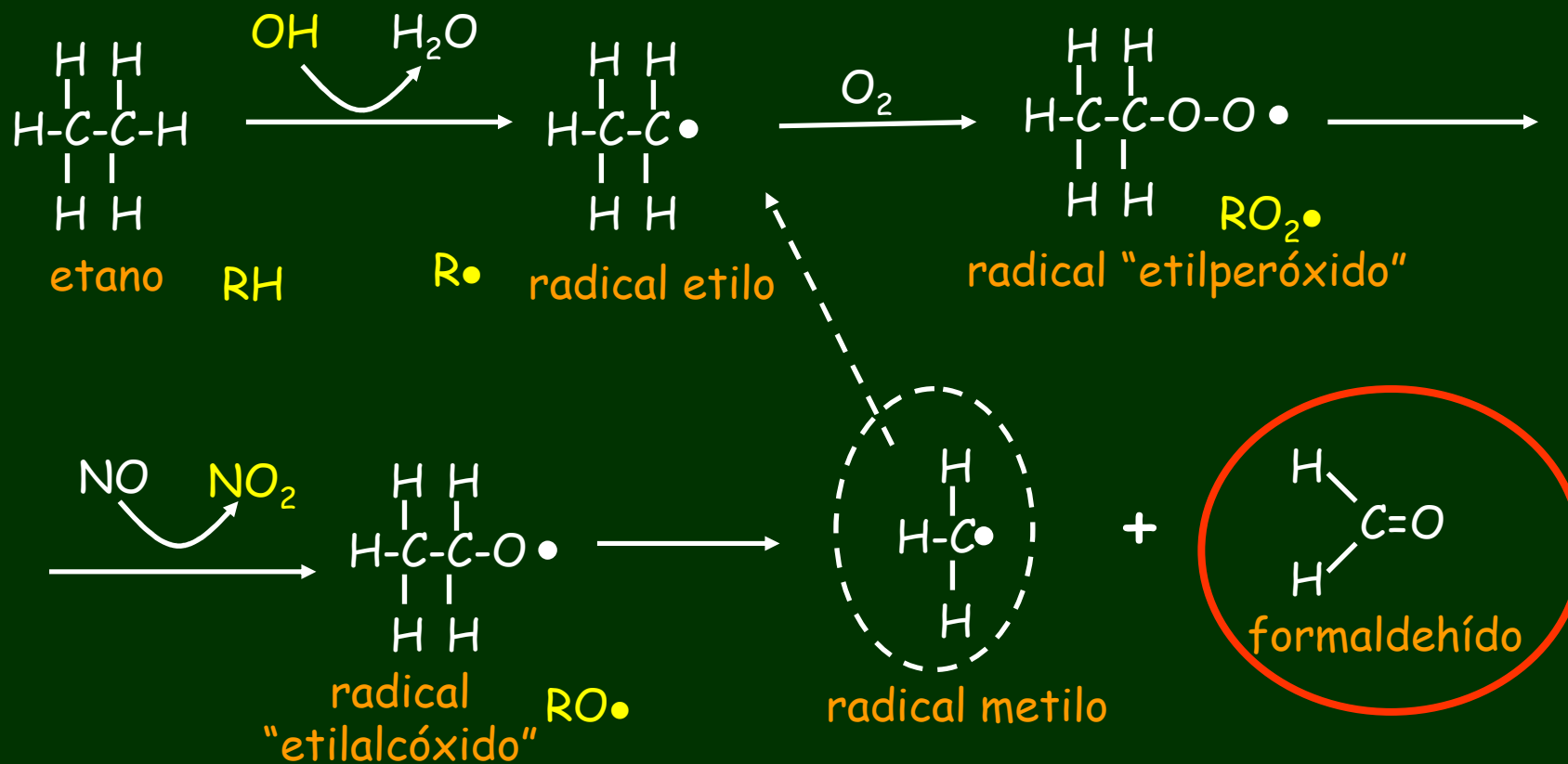


Figura 3.12. Espectro de absorción del NO<sub>2</sub> (IUPAC, Supl. VI).

# Ozono y compuestos orgánicos volátiles:

Ejemplo: oxidación del etano



## Ozono y compuestos orgánicos volátiles:

La oxidación del COV en presencia de NO produce formaldehído



En abundancia de NO, el formaldehído PRODUCE  $\text{O}_3$

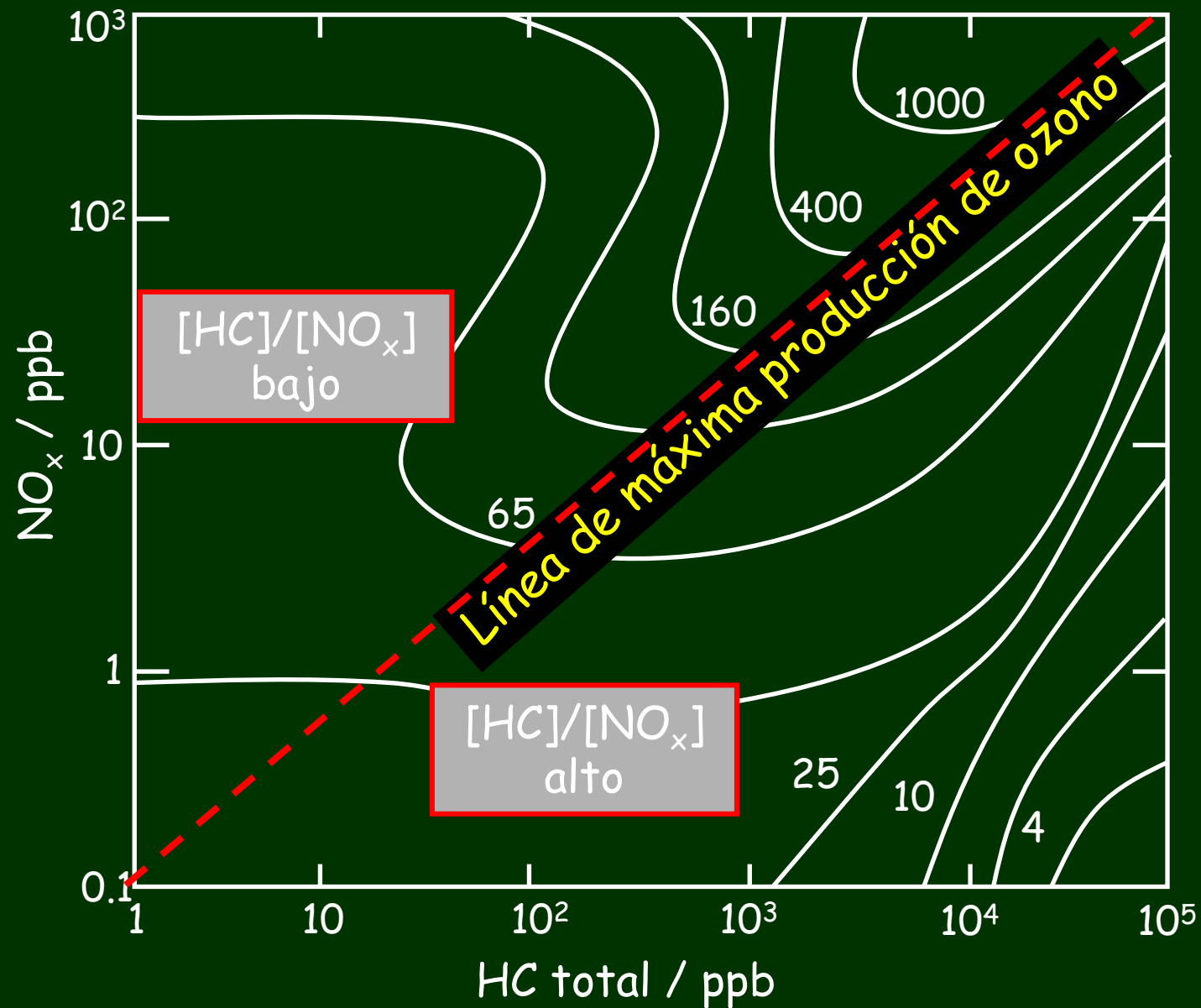


En abundancia de COV, el formaldehído DESTRUYE  $\text{O}_3$



Tanto (1) como (2) son el resultado de una serie de reacciones de oxidación secuenciales  $\text{H}_2\text{CO} \longrightarrow \text{HCO} \longrightarrow \text{CO} \longrightarrow \text{CO}_2$ , en las que intervienen el OH y el  $\text{HO}_2$

## Relación entre concentración de ozono y sus precursores



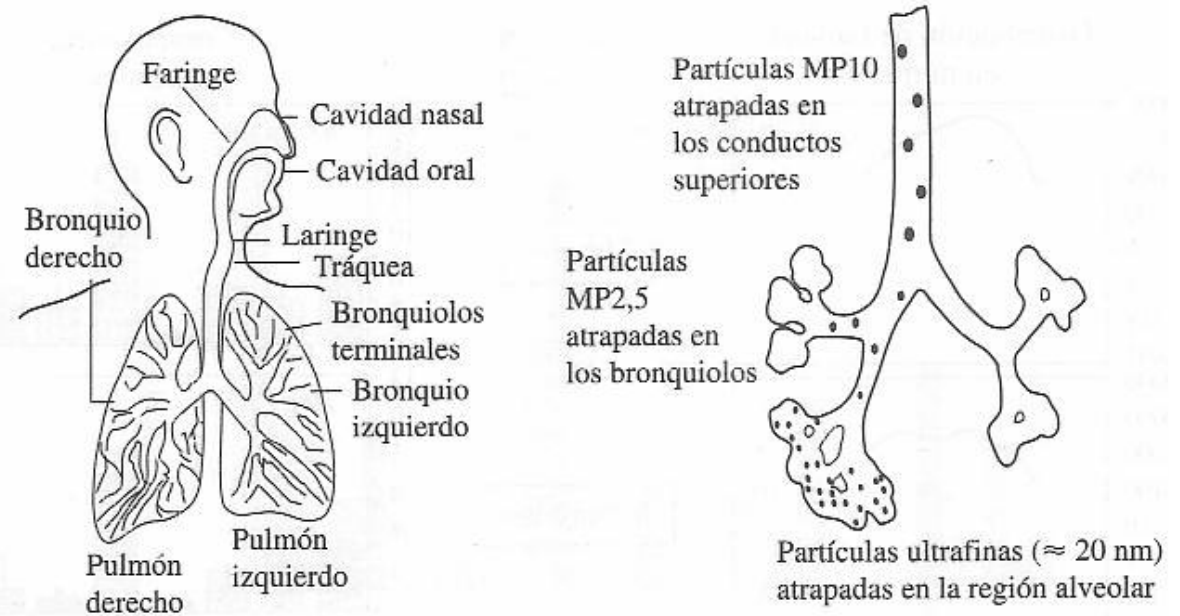
## Partículas en suspensión (aerosoles)

Composición, tamaño y efectos heterogéneos

Referencia habitual por tamaño (diámetros promedio)

$d < 10 \mu\text{m}$  (PM10)

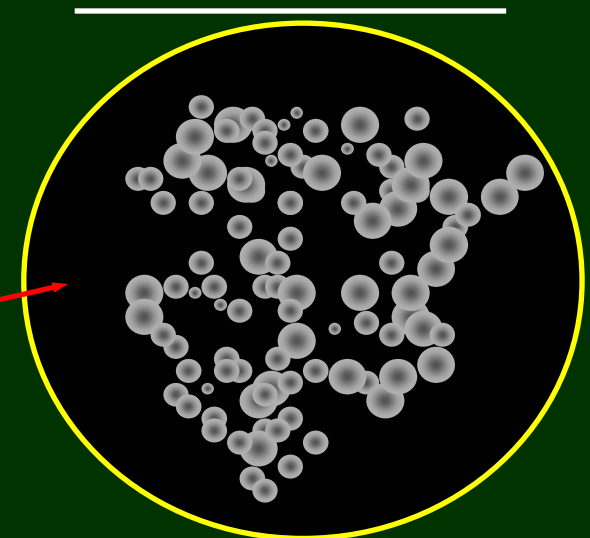
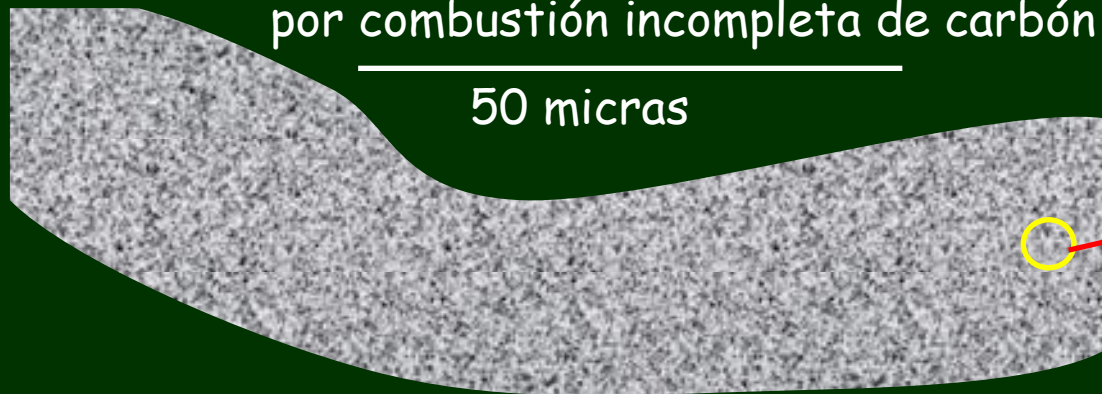
$d < 2.5 \mu\text{m}$  (PM2.5)



**Figura 2.19.** Diagrama del tracto respiratorio humano y esquema de los lugares de acceso de los diferentes tamaños de partículas.

Imagen SEM de partículas generadas por combustión incompleta de carbón

50 micras



# Partículas

Partículas en la troposfera

Partículas primarias: se forman directamente a partir de emisiones naturales o artificiales

Partículas secundarias: se forman en la atmósfera a partir de contaminantes gaseosos

FUENTES NATURALES: polvo del suelo, espumas marinas, pólenes, etc...

FUENTES ARTIFICIALES: humos de combustión (carbón, petróleo), emisiones industriales (humos, cenizas, canteras). Reacciones atmosféricas.

UMBRAL DE ALERTA:  $150 \mu\text{g} / \text{m}^3$

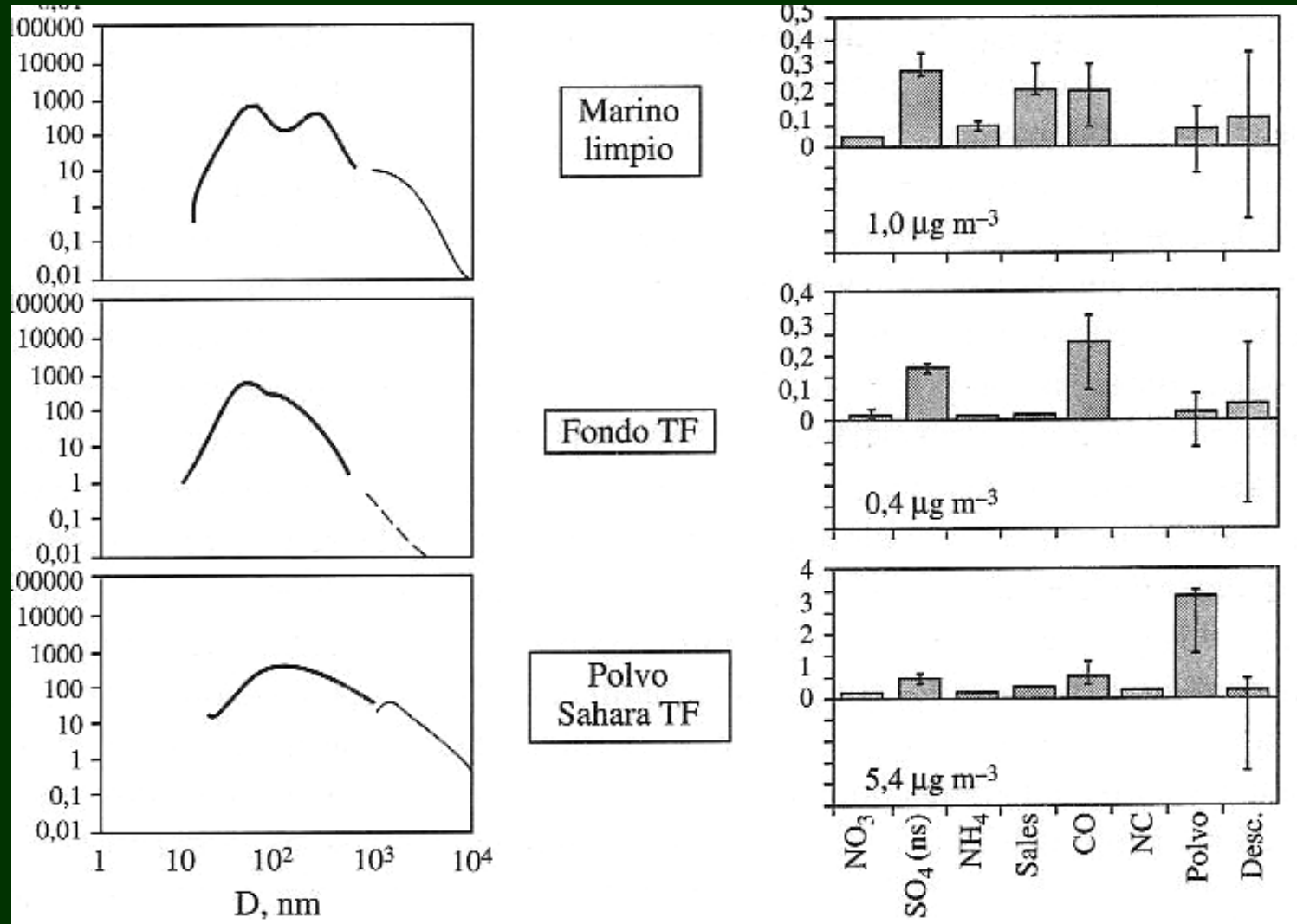
Valor límite de la media anual:  $40 \mu\text{g} / \text{m}^3$  (2005)

# Distribuciones y composición de partículas

## Distribución de tamaños

## Composición química

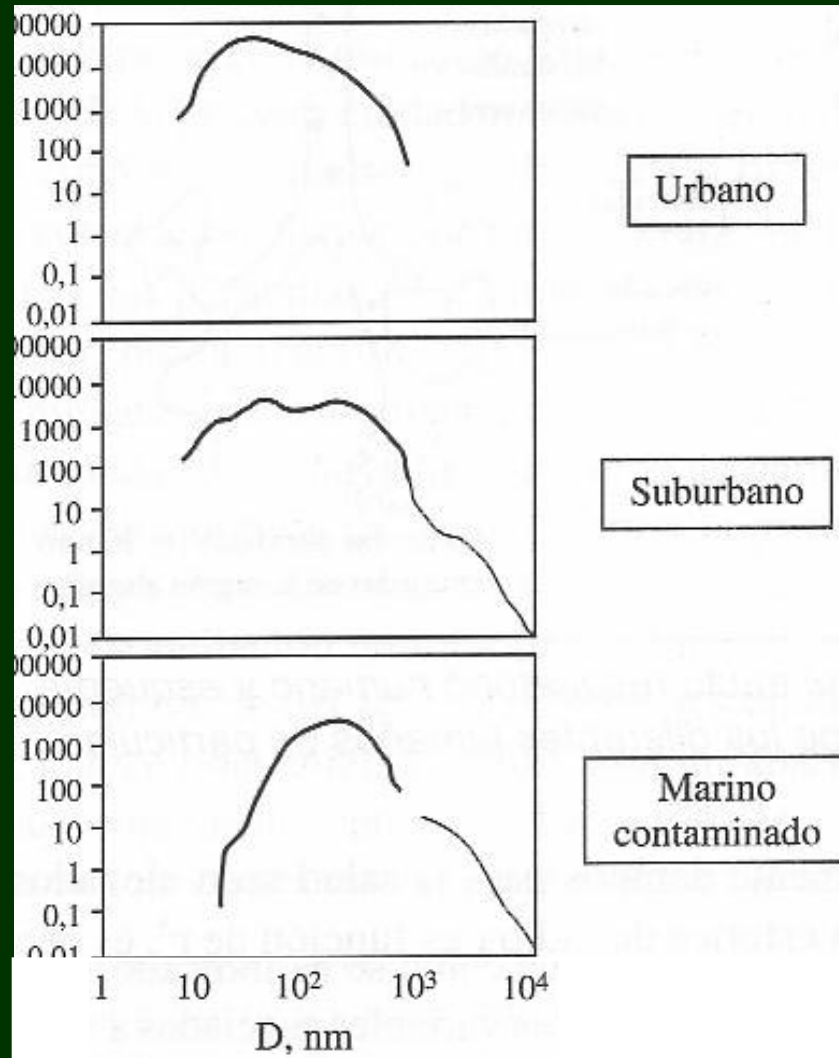
Representaciones log-log



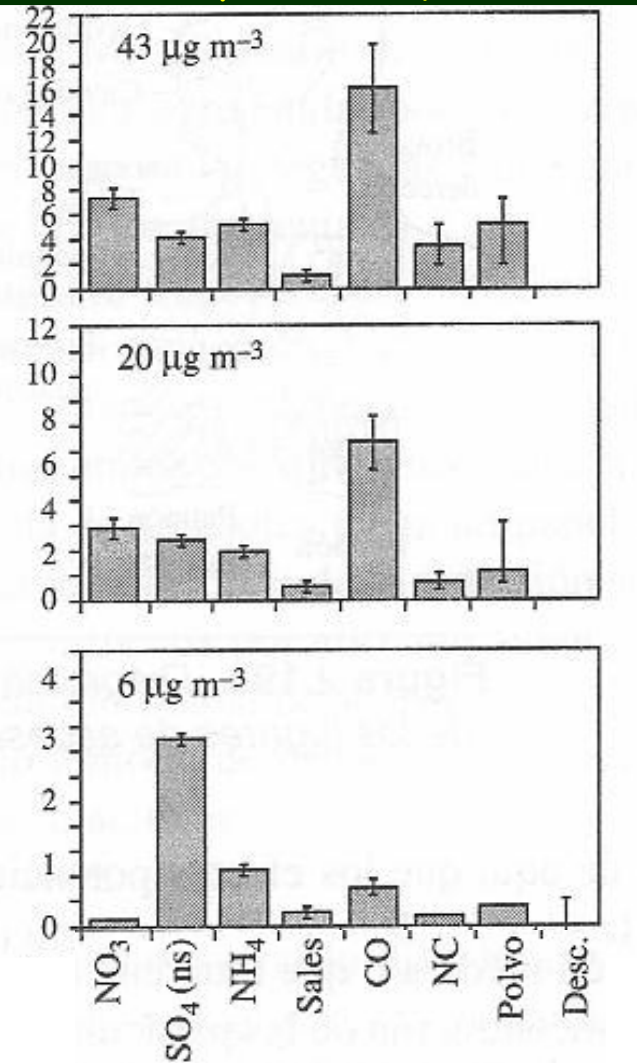
# Distribuciones y composición de partículas

## Distribución de tamaños

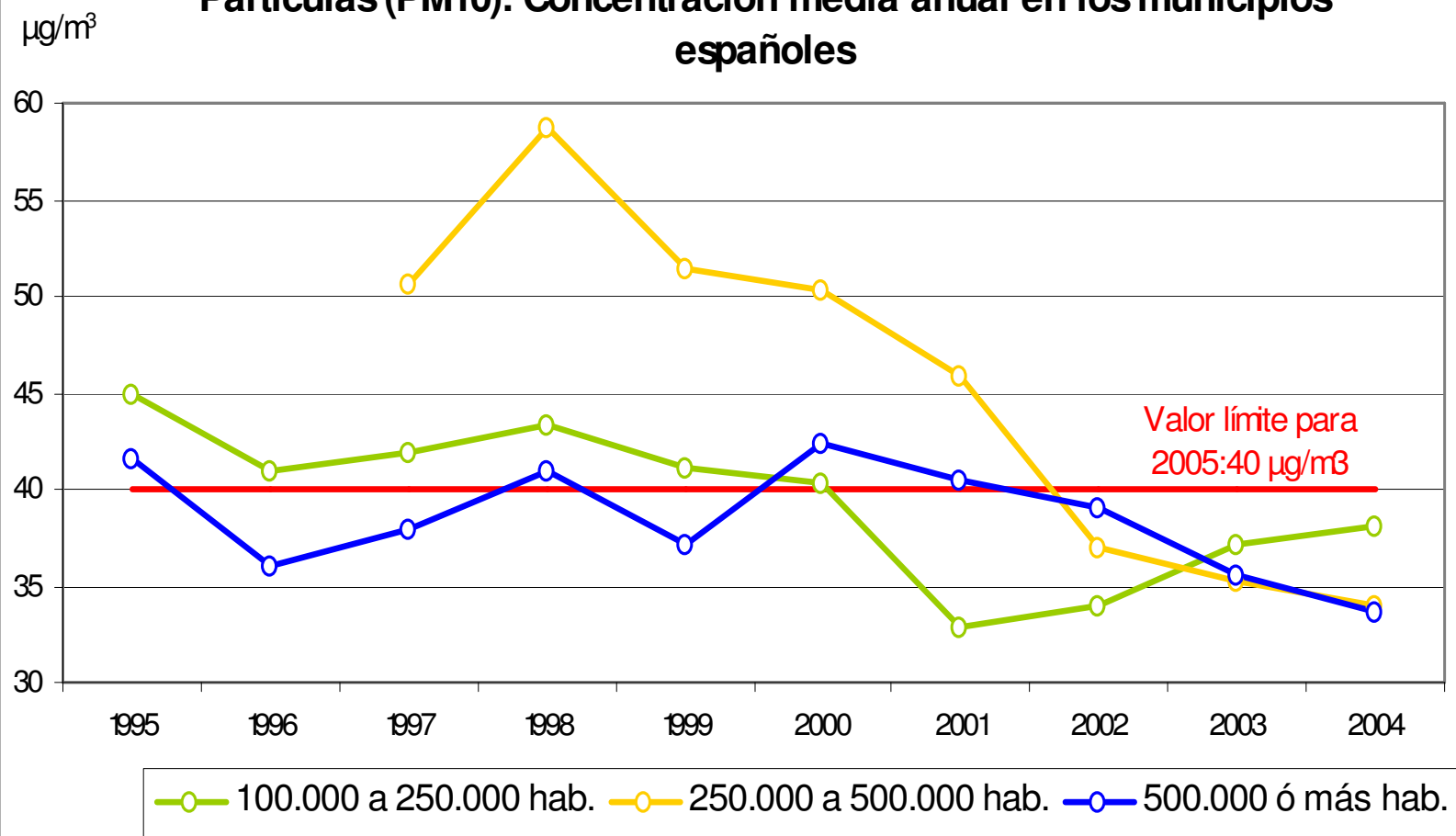
Representaciones log-log



## Composición química



## Partículas (PM10): Concentración media anual en los municipios españoles



Fuente: MMA