

Los modelos de predicción de la composición química de la atmósfera

Isabel Martínez Marco
Jefe de Área de Aplicaciones
AEMET

imartinezm@aemet.es

Curso: PIB-M 2022-23

Sumario



- Introducción
- Composición química de la atmósfera
- Modelos de transporte químico
- Modelos de aerosoles
- Emisiones antropogénicas y naturales: Inventarios de emisión
- Modelo de transporte químico y de aerosoles en AEMET: Modelo MOCAGE
- Programa COPERNICUS. Iniciativa CAMS
- Página web externa
 - http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/calidad_del_aire

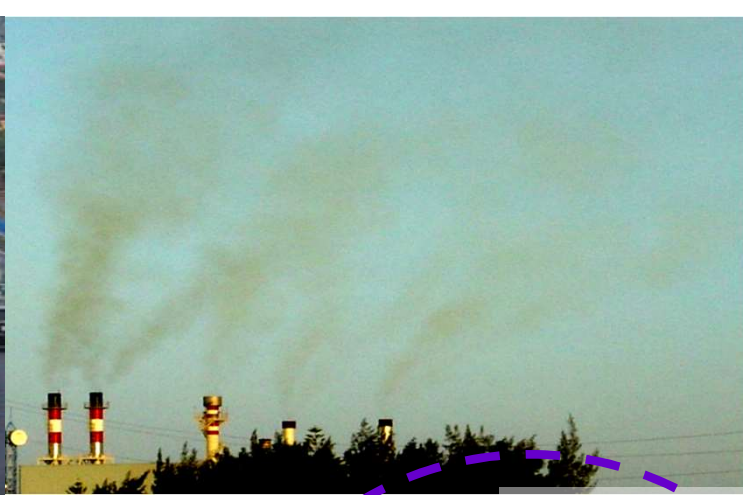
Introducción



- La composición química de la atmósfera terrestre está continuamente en evolución debido a los cambios en las emisiones (tanto naturales como antropogénicas) así como a la variabilidad climática natural (El Niño, etc.)
- Un camino para resolver la evolución de la composición físico-química de la atmósfera es a través de la modelización numérica.
- Un modelo es un conjunto de conocimientos o hipótesis sobre la física y la química de la atmósfera que traducimos a la forma de ecuaciones matemáticas o relaciones empíricas y que resolvemos mediante técnicas numéricas.
- La historia de la modelización química es indisociable de la modelización numérica del tiempo. Se trata de resolver un conjunto de ecuaciones no lineales por métodos numéricos y de forma similar a los modelos atmosféricos.
- Su objetivo es conocer con anticipación suficiente el pronóstico de los niveles de polución de forma que sea posible tomar medidas puntuales de reducción de emisiones que limite el impacto de los posibles episodios susceptibles de ser peligrosos para la salud de los ciudadanos.
- Pero también son herramientas para prever la evolución futura de la composición química de la atmósfera y de su impacto en el clima y para comparar diferentes escenarios de emisiones antropogénicas.

La composición química de la atmósfera actual

	Fórmula	Masa Molecular $C^{12} = 12$	% volumen en relación al aire seco	Masa Total en la atmósfera (Kg)	Tiempo medio de residencia en la atmósfera
Atmósfera total				$5.136 \cdot 10^{18}$	
Aire Seco		28.9644	100	$5.119 \cdot 10^{18}$	
Vapor de agua	H ₂ O	18.0153	variable	$0.017 \cdot 10^{18}$	6 a 15 días
Nitrógeno	N ₂	28.0340	78.084	$3.866 \cdot 10^{18}$	$15 \cdot 10^6$ años
Oxígeno	O ₂	31.9988	20.948	$1.185 \cdot 10^{18}$	$8 \cdot 10^3$ años
Argon	Ar	39.9480	0.934	$6.59 \cdot 10^{16}$	∞
Dióxido de carbono	CO ₂	44.0099	0.0370	$2.72 \cdot 10^{15}$	15 años
Neon	Ne	20.1830	$1.818 \cdot 10^{-3}$	$6.48 \cdot 10^{13}$	∞
Helio	He	4.0026	$1.818 \cdot 10^{-3}$	$3.71 \cdot 10^{12}$	∞
Metano	CH ₄	16.0430	$\approx 1.7 \cdot 10^{-4}$	$\approx 4.3 \cdot 10^{12}$	9 años
Hidrógeno	H ₂	2.0159	$\approx 5.0 \cdot 10^{-5}$	$\approx 1.8 \cdot 10^{11}$	10 años
Oxido nitroso	N ₂ O	44.0128	$\approx 3.1 \cdot 10^{-5}$	$\approx 2.3 \cdot 10^{12}$	150 años
Monóxido de carbono	CO	28.0106	$\approx 1.2 \cdot 10^{-5}$	$\approx 5.9 \cdot 10^{11}$	2 meses
Ozono	O ₃	47.9982	$\approx 2 - 200 \cdot 10^{-6}$	$\approx 3.3 \cdot 10^{12}$	1 a 2 meses
Amoniaco	NH ₃	17.0306	$\approx 0.1 - 1.0 \cdot 10^{-6}$	$\approx 3 \cdot 10^{10}$	20 días
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	46.0055	$\approx 1.0 \cdot 10^{-7}$	$\approx 8 \cdot 10^9$	1 día
COVs	C _x H _y O _z	variable	$\approx 0.1 - 1.0 \cdot 10^{-6}$	$\approx 10^{11}$	horas - días
Dióxido de azufre	SO ₂	64.063	$\approx 2 \cdot 10^{-8}$	$\approx 2.3 \cdot 10^9$	1 día
Sulfuro de hidrógeno	SH ₂	34.080	$\approx 2 \cdot 10^{-8}$	$\approx 1.2 \cdot 10^9$	1 día

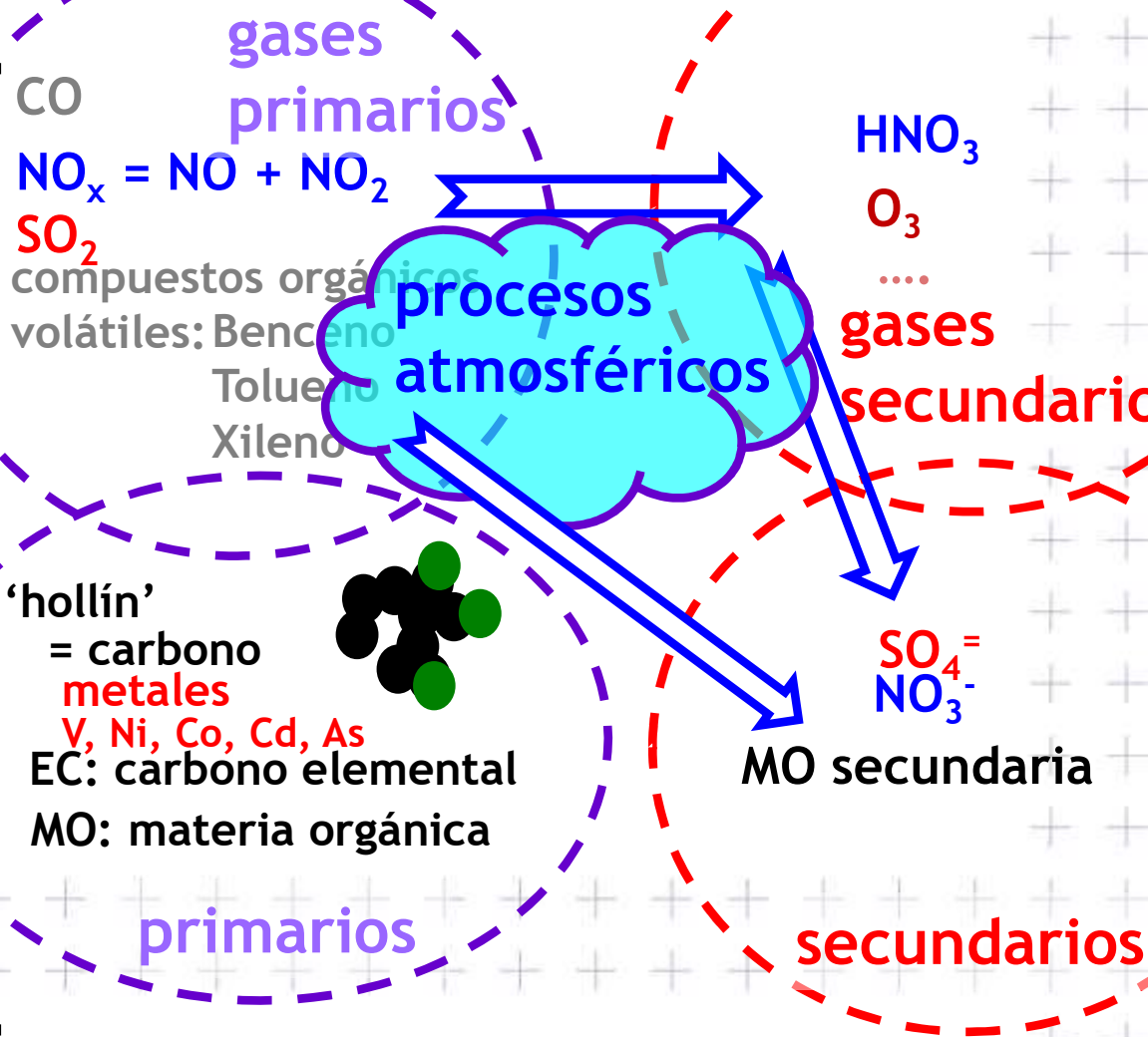


gases

combustible
hidrocarburos
 H_xC_y
S y metales



aerosoles
material
particulado



1. Origen de los gases reactivos en la atmósfera

		urbano	industrial	rurales
monóxido de carbono				
CO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200 - 1500		100 - 500
óxidos de nitrógeno				
NO _x = NO + NO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 - 150		1 - 20
dióxido de azufre				
SO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<1 - 2	10 - 500	< 1
Ozono				
O ₃	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 - 100		50 - 200

1. Origen de los gases reactivos en la atmósfera

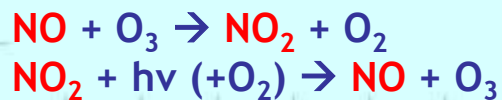
monóxido de carbono

Emission Tg(CO)/yr

Sources of CO:		%
Oxidation of methane	800	28.8
Oxidation of isoprene	270	9.7
Oxidation of terpenes	0	0.0
Oxidation of industrial NMHC	110	4.0
Oxidation of biomass NMHC	30	1.1
Oxidation of acetone	20	0.7
Subtotal in-situ oxidation	1230	44.2
Vegetation	150	5.4
Oceans	50	1.8
Biomass burning	700	25.2
Fossil and domestic fuel	650	23.4
Subtotal direct emissions	1550	55.8
TOTAL	2780	

65% emisiones son antropogénicas (automóviles, gasolina)

• Local production of O₃ by reactions of peroxy radicals with NO:
 $HO_2 + NO \rightarrow OH + NO_2$ [R1]
 $CH_3O_2 + NO \rightarrow CH_3O + NO_2$ [R2]
 $RO_2 + NO \rightarrow RO + NO_2$ [R3]
 followed by photolysis of NO₂
 $NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$
 $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$
 $P(O_3) = (k_1 [HO_2] + k_2 [CH_3O_2] + k_3 [RO_2]) [NO]$



óxidos de nitrógeno

Emission Tg(N)/yr

Sources of NOx:		%
Fossil fuel combustion	33	64.2
Aircraft	0.7	1.4
Biomass burning	7.1	13.8
Soils	5.6	10.9
Lightning	5	9.7
Stratosphere	0.5	1.0
TOTAL	51.4	

78% emisiones son antropogénicas (automóviles, industria combustión)

dióxido de azufre

IPCC(2001) Emission Tg(S)/yr

Sources of SO ₂ :		%
Fossil fuel combustion + industry	70	87
Biomass burning		2.8
Volcanoes		8
TOTAL	80.8	

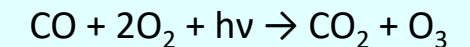
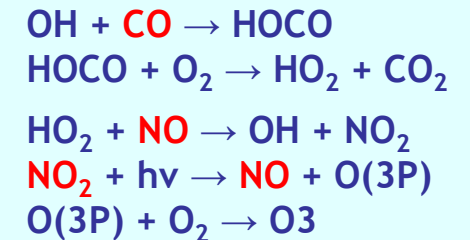
90% emisiones son antropogénicas (centrales térmicas de carbón, refinерías y barcos)

ozono troposférico

Se forma mediante complejas reacciones NO_x, CO y COVs en presencia de luz solar

Emission Tg(O₃)/yr

Sources of O ₃ :		%
In situ chemical production	4100	91.1
Transport from stratosphere	400	8.9
TOTAL	4500	



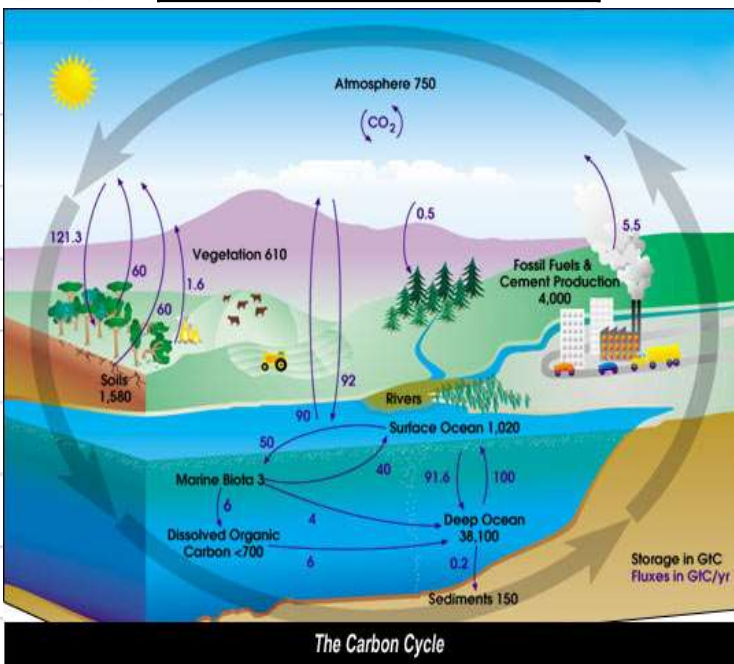
2. Efectos de la contaminación por gases reactivos

propiedades, clima, calidad del aire, efectos en la salud, vegetación (agricultura)

monóxido de carbono

Tg(CO)/yr

Sinks of CO:	
Surface deposition	190
OH reaction	1920



- Contaminante del aire más abundante en la baja atmósfera a excepción del CO₂
- Participa en el ciclo del carbono (conversión a CO₂)
- Vida media en troposfera de 30 a 90 días
(transporte largo recorrido !!!!!)
- Papel crucial en la química troposférica (OH_x)
- Es un precursor de O₃ troposférico
- Forzamiento radiativo global:
 - absorción y emisión en longitudes de onda infrarroja (1800 y 2300 cm⁻¹)

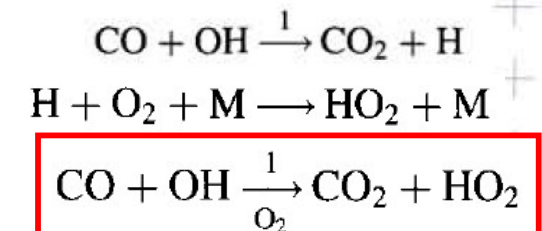
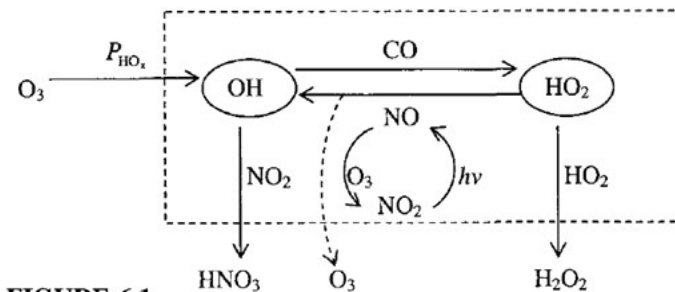


FIGURE 6.1

Reactions involving the HO_x (OH + HO₂) family in CO oxidation.

2. Efectos de la contaminación por gases reactivos

propiedades, clima, calidad del aire, efectos en la salud, vegetación (agricultura)

óxidos de nitrógeno

- $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$
- $\text{NO}_y = \text{NO}_x + \text{especies nitrogenadas orgánicas e inorgánicas}$
(HNO_3 , aerosol nitrato, PAN, N_2O , CH_3CN y HCN)
- Tiempo de vida horas - pocos días
- Influye en la química de la troposfera (OH_x)
- Es un precursor de ozono troposférico O_3
- Es un precursor de aerosol nitrato
- Afectan al forzamiento radiativo:
 - O_3 (calentamiento)
 - aerosol nitrato (enfriamiento)

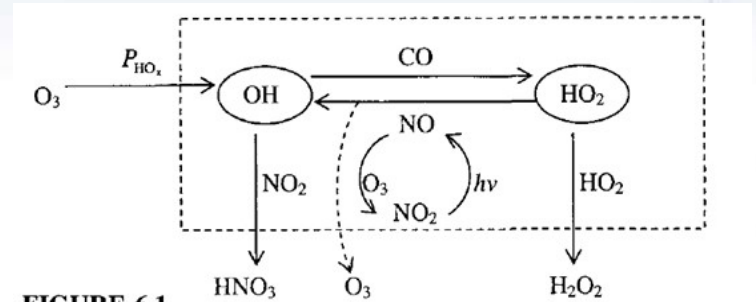


FIGURE 6.1
Reactions involving the HO_x (OH + HO₂) family in CO oxidation.

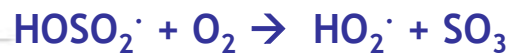
2. Efectos de la contaminación por gases reactivos

propiedades, clima, calidad del aire, efectos en la salud, vegetación (agricultura)

LLUVIA ÁCIDA



agua atmosférica o sobre superficies húmedas

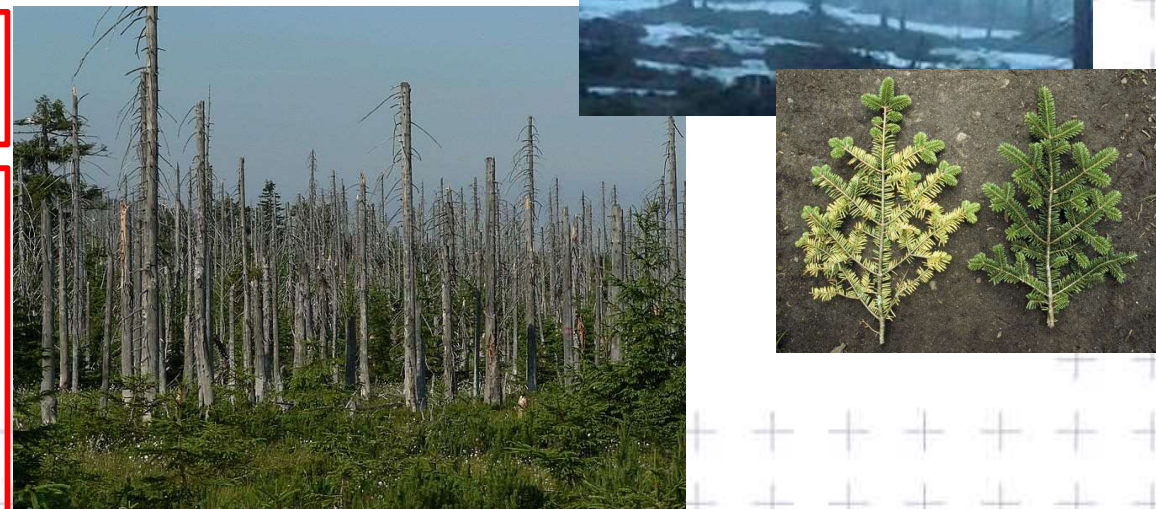
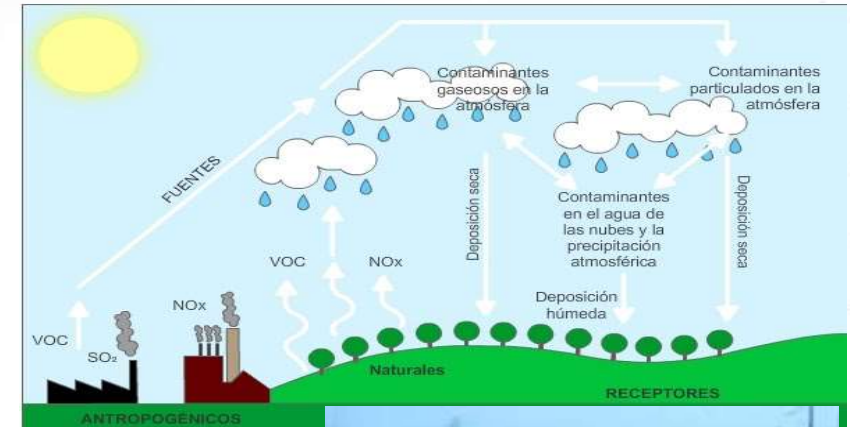


Lluvia **pH** de 5.65 (ligeramente ácido; debido a la disolución de $\text{CO}_2 \rightarrow$ **ácido carbónico**, H_2CO_3).
 Lluvia ácida pH < 5 (pudiendo bajar hasta 3).

Acidificación de lagos, ríos, suelo.
DEPOSICIÓN HÚMEDA Y SECA

1970s: lluvia ácidas, declives de bosques
1980s: la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa incluyó a la lluvia ácida en el Protocolos de lucha contra la Contaminación Atmosférica Transfronteriza (Larga Distancia)

centenares de Kms del foco emisor



2. Efectos de la contaminación por gases reactivos

propiedades, clima, calidad del aire, efectos en la salud, vegetación (agricultura)

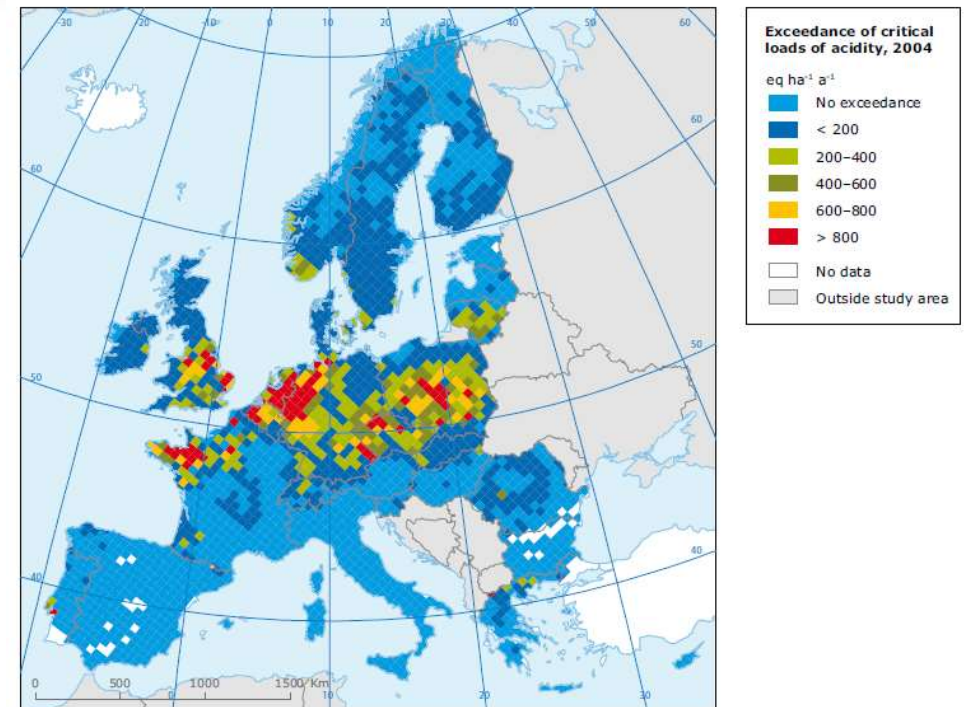
LLUVIA ÁCIDA

Centro Europa

Lluvia pH de 5.65 (ligeramente ácido; debido a la disolución de $\text{CO}_2 \rightarrow$ ácido carbónico, H_2CO_3).
 Lluvia ácida $\text{pH} < 5$ (pudiendo bajar hasta 3).



Figure 4.4 Exceedance of critical loads of acidity, EMEP 2004 deposition data



Note: This map shows areas in Europe where ecosystems are exposed to atmospheric loads of acidity (sulphur plus nitrogen compounds) that are greater than the critical load for the most sensitive ecosystems in each 50 x 50 grid cell.

Air pollution in Europe 1990–2004

European Environment Agency

www.eea.europa.eu



2. Efectos de la contaminación por gases reactivos propiedades, clima, calidad del aire, efectos en la salud, vegetación (agricultura)

ozono

- Gas muy reactivo y oxidante
- Vida media de 25 días en la troposfera
- Capa estratosférica (20-50km):
se forma y destruye absorbiendo las radiaciones UV del sol (240-290nm)
- Inyectado en la troposfera mediante los procesos de intercambio de masas de aire en latitudes extra-tropicales
- Papel fundamental en los procesos físicos, químicos y radiativos
- O₃ troposférico es el tercer gas de efecto invernadero más importante (CO₂ y el CH₄)

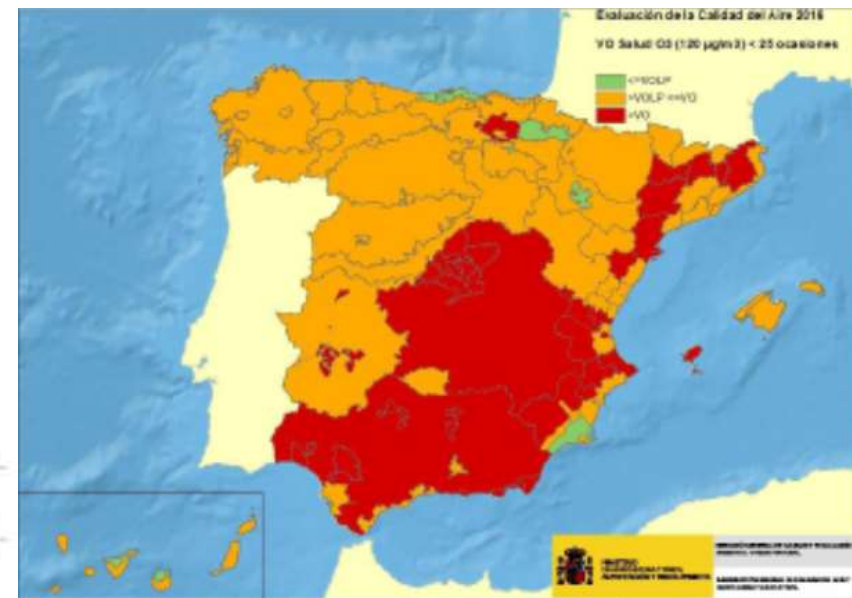


Figura 42. Evaluación 2016: valor objetivo de O₃ para la protección de la salud (zonas).

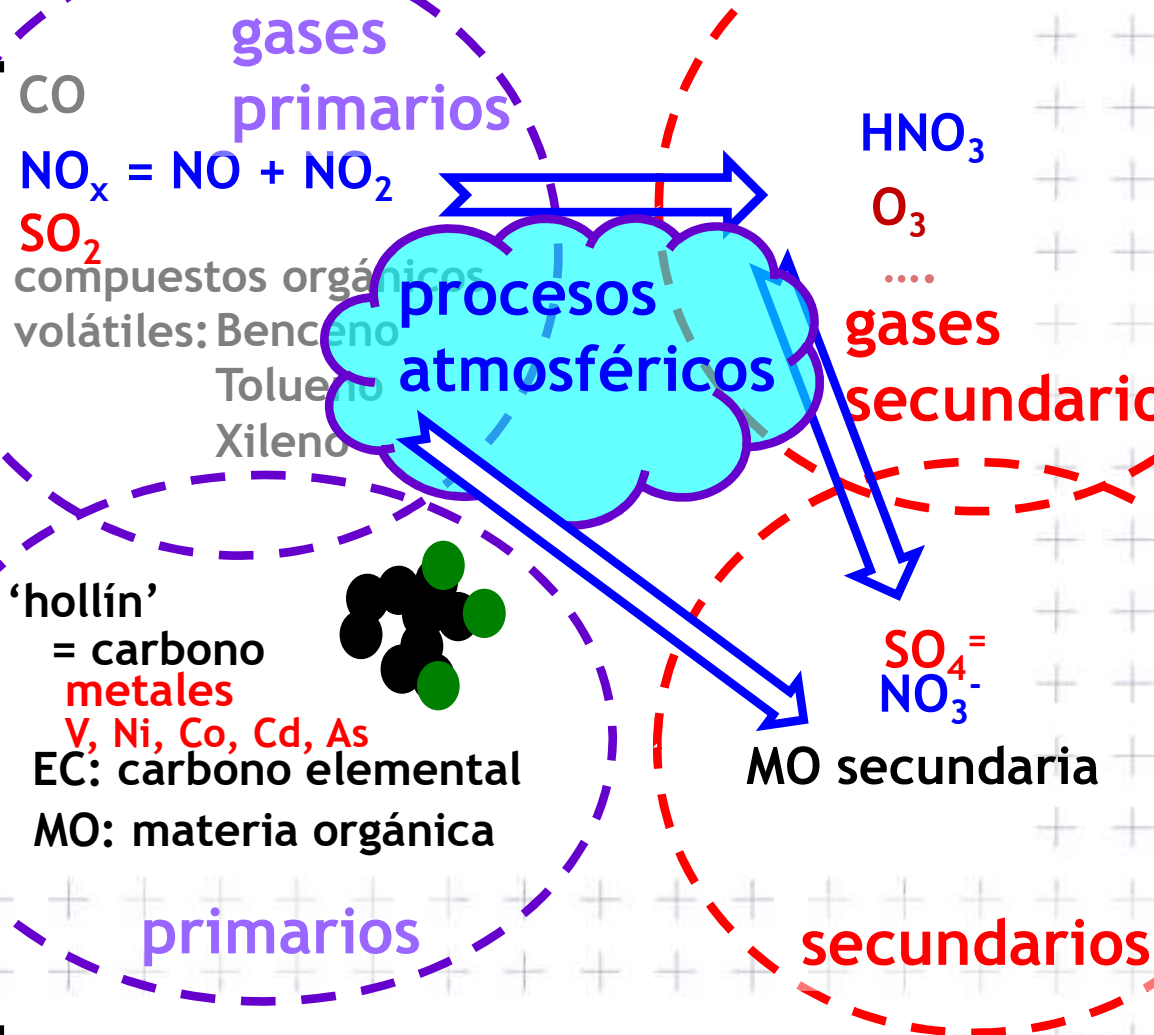


gases

combustible
hidrocarburos
 H_xC_y
S y metales



aerosoles
material
particulado



Origen de las partículas atmosféricas

definiciones, Fuentes naturales, fuentes antropogénicas, Composición química, Tamaño de partícula, calidad del aire.

Definición

Aerosol

“Sustancias en estado sólido y/o líquido suspendidas en un gas”

fases : sólida, líquida y gas

ejemplos: spray (l), polvo (s), humo de incendio (s+g)

Aerosol atmosférico o material particulado atmosférico PM

“Sustancias en estado sólido y/o líquido suspendidas en la atmósfera”

fases : sólida, líquida y gas

ejemplos: atmósfera (g+l+s), nube (l+g),....

Práctica → se estudia la fase sólida y en menor medida la líquida

Tamaño de las partículas del aerosol o PM

1nm - 100 μ m

3nm - 50 μ m

< 1nm: \rightarrow Å

> 100 μ m: \rightarrow no permanece en suspensión

Diámetro del pelo: 40-70 μ m

1nm - 100 μ m \rightarrow 5 órdenes de magnitud

Tamaño de las partículas del aerosol o PM

1nm	→	4cm	→	Pelota de golf
10 nm	→	40cm	→	Rueda de un coche
100 nm	→	4 m	→	Coche familiar
1000 nm = 1 μ m	→	40 m	→	Piscina Olímpica
10000 nm = 10 μ m	→	400 m	→	4 veces el largo de un campo de fútbol
100000 nm = 100 μ m	→	4 Km	→	Pista aterrizaje aeropuerto

<10 μ m, <2.5 μ m, <1 μ m, <0.1 μ m

primarias naturales

polvo desértico

sal marina

primarias antropogénicas

polvo

tráfico, obras,

metales V, Ni, Cd, As, Co,

secundarias naturales

COVs (g) → MO (a)
vegetación

SO₂ (g) → SO₄⁼ (a)
marina
volcanes

NH₃ (g) → NH₄⁺ (a)
descomposición
materia orgánica

secundarias antropogénicas

COVs (g) → MO (a)
automóviles, refinerías

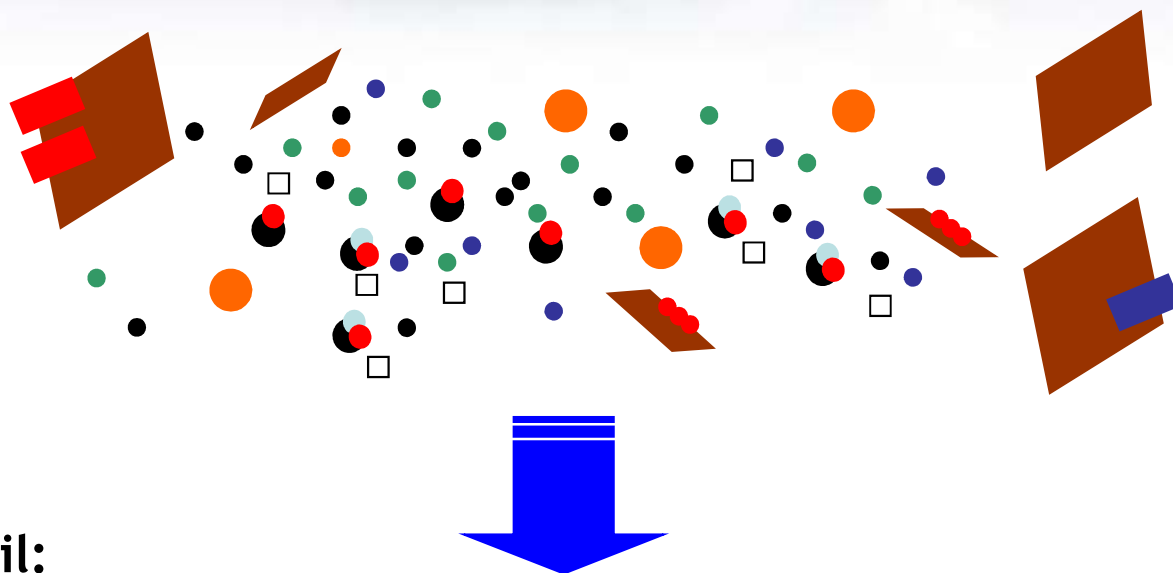
SO₂ (g) → SO₄⁼ (a)
Centrales térmicas, refinerías

NH₃ (g) → NH₄⁺ (a)
descomposición materia orgánica

NO_x (g) → NO₃⁻ (a)

Origen de las partículas atmosféricas

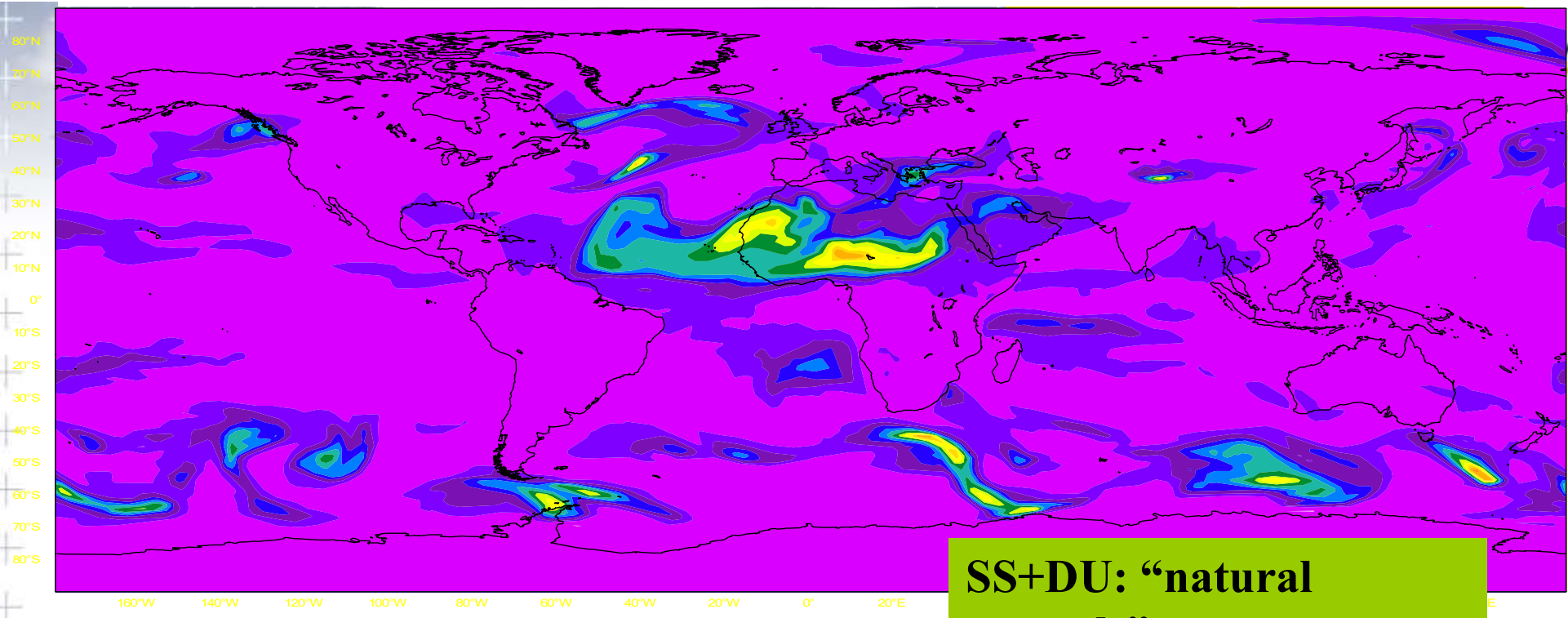
Definiciones, fuentes naturales, fuentes antropogénicas, composición química, tamaño de partícula, calidad del aire.



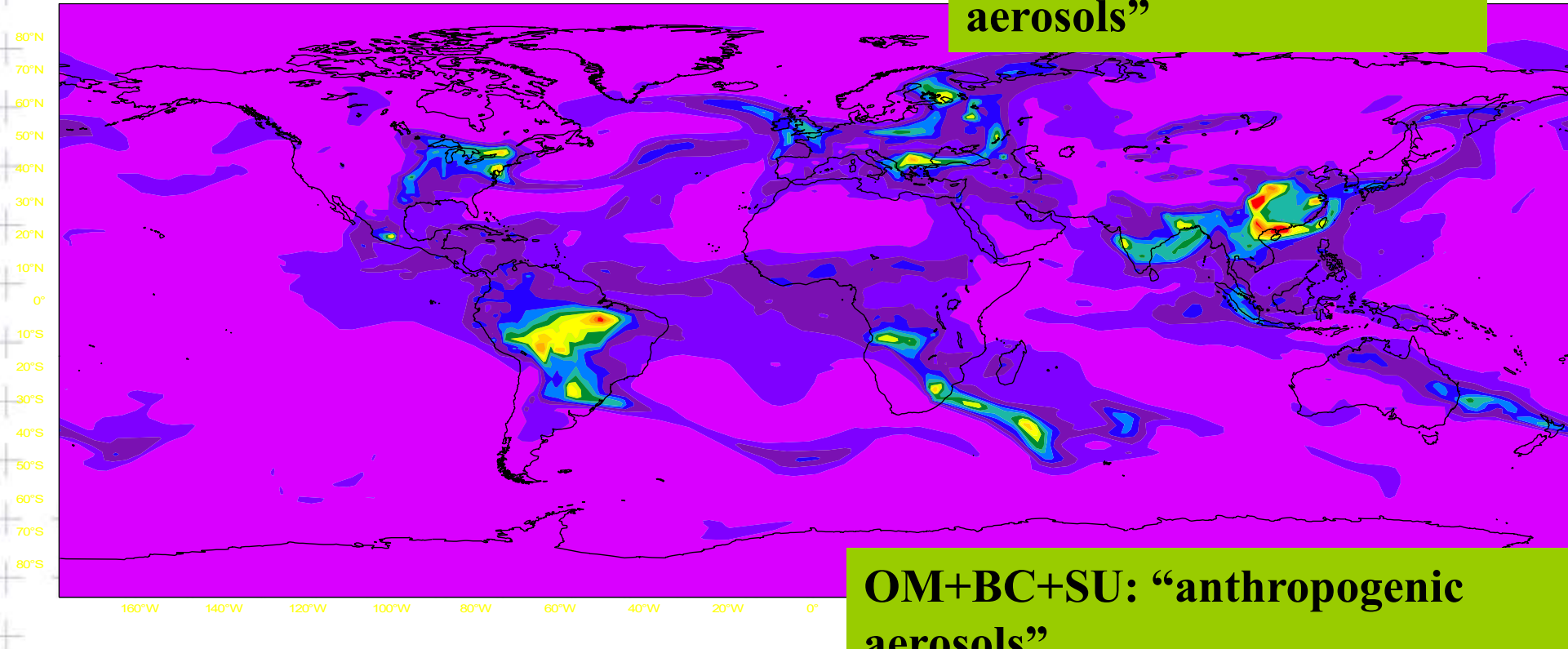
mineral, calima
sal marina
sulfato
nitrato
materia orgánica
hollín 'carbono negro'
metales

cocktail:

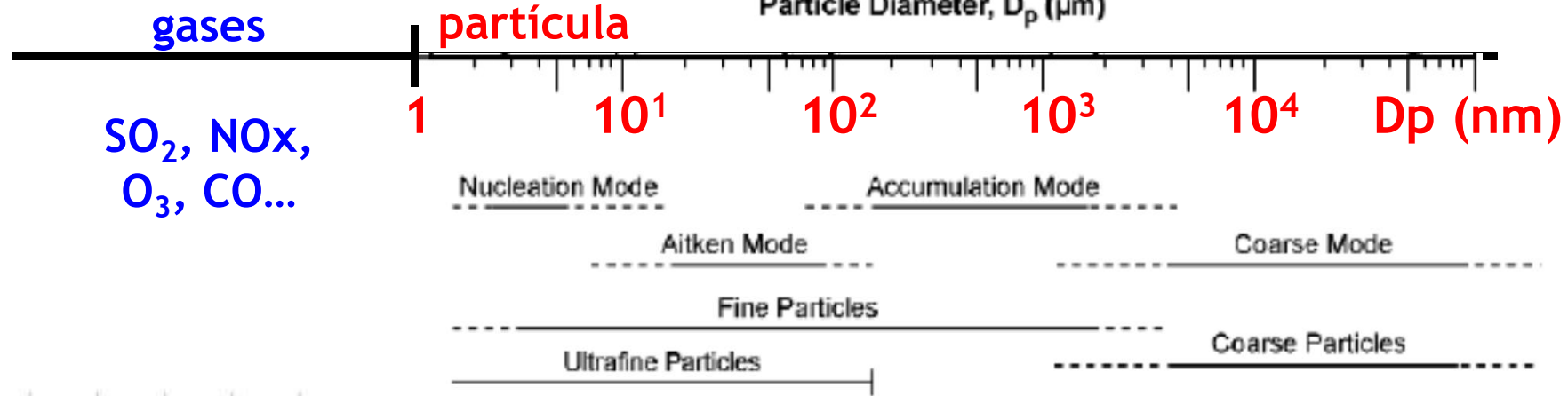
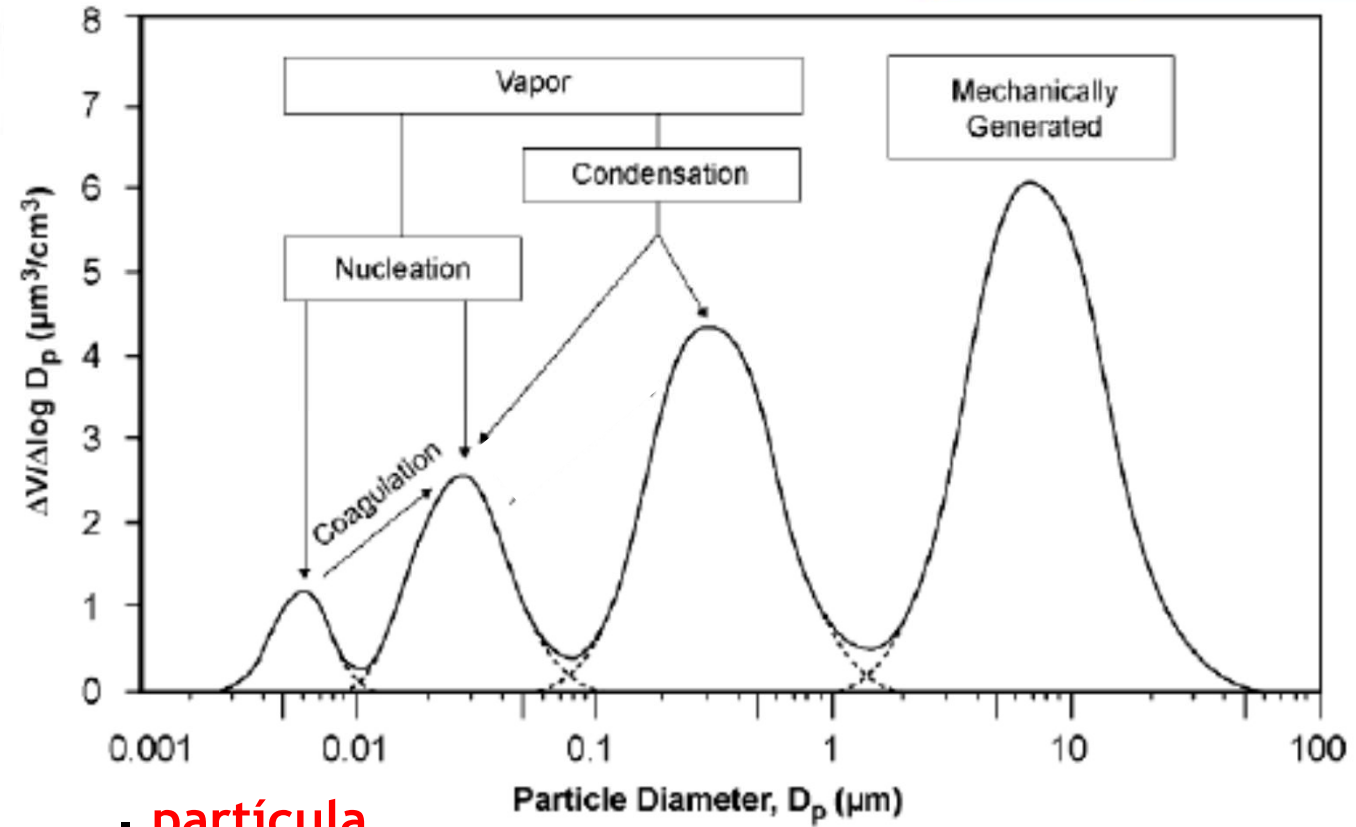
Las partículas son una mezcla de numerosos compuestos químicos, naturales y/o antropogénicos, cuyo tamaño varía entre 1 nm y 10 μm



SS+DU: “natural aerosols”



OM+BC+SU: “anthropogenic aerosols”

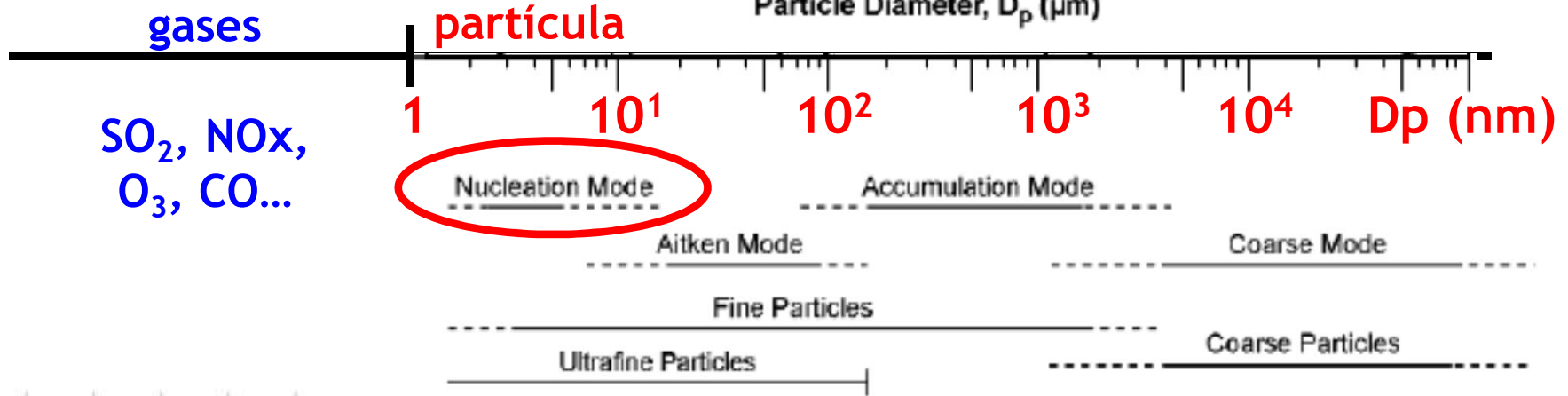
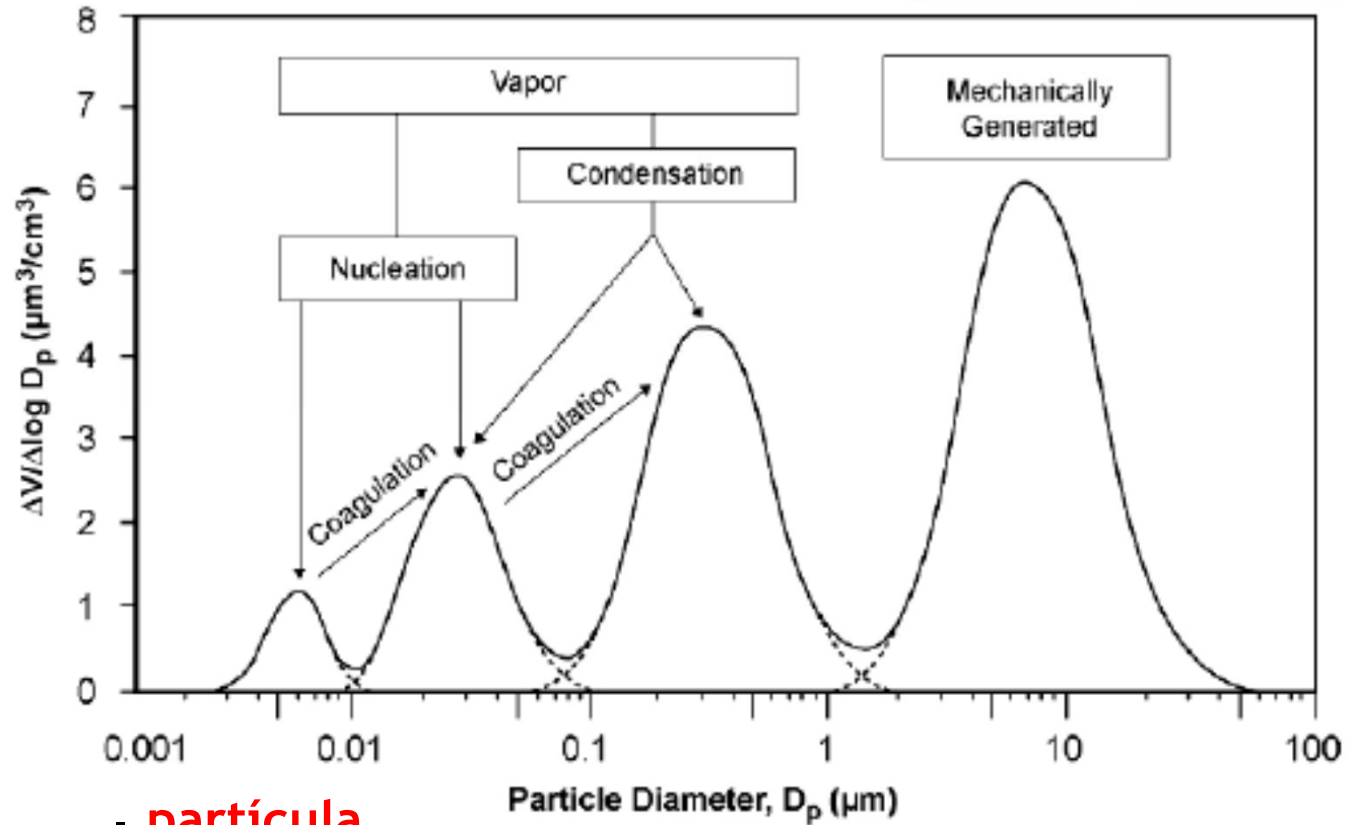


nucleación

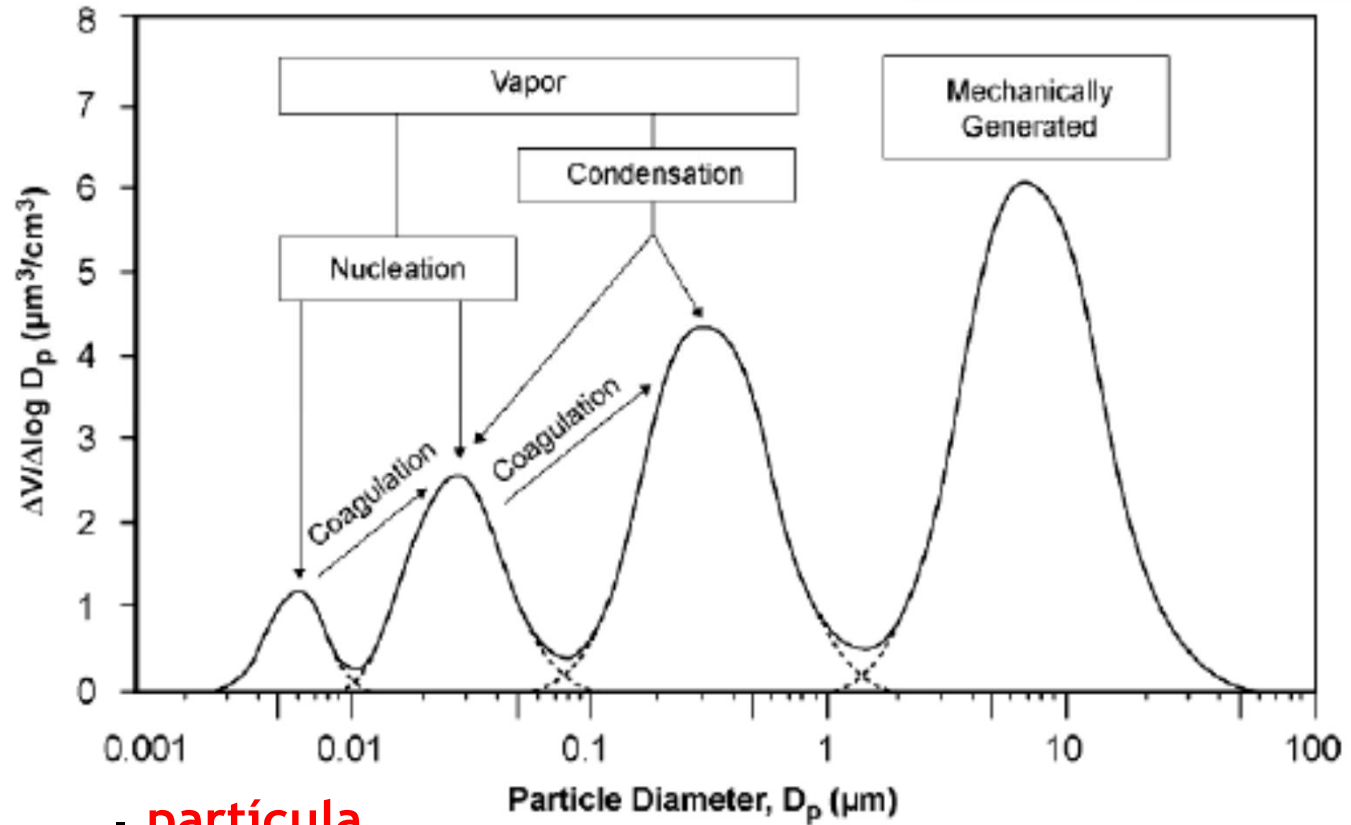
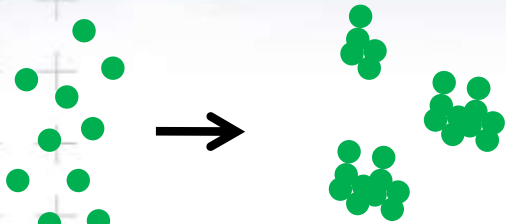
gas



fotoquímica
emisión automóviles



coagulación



partícula

1 10¹ 10² 10³ 10⁴ D_p (nm)

Nucleation Mode

Accumulation Mode

Aitken Mode

Coarse Mode

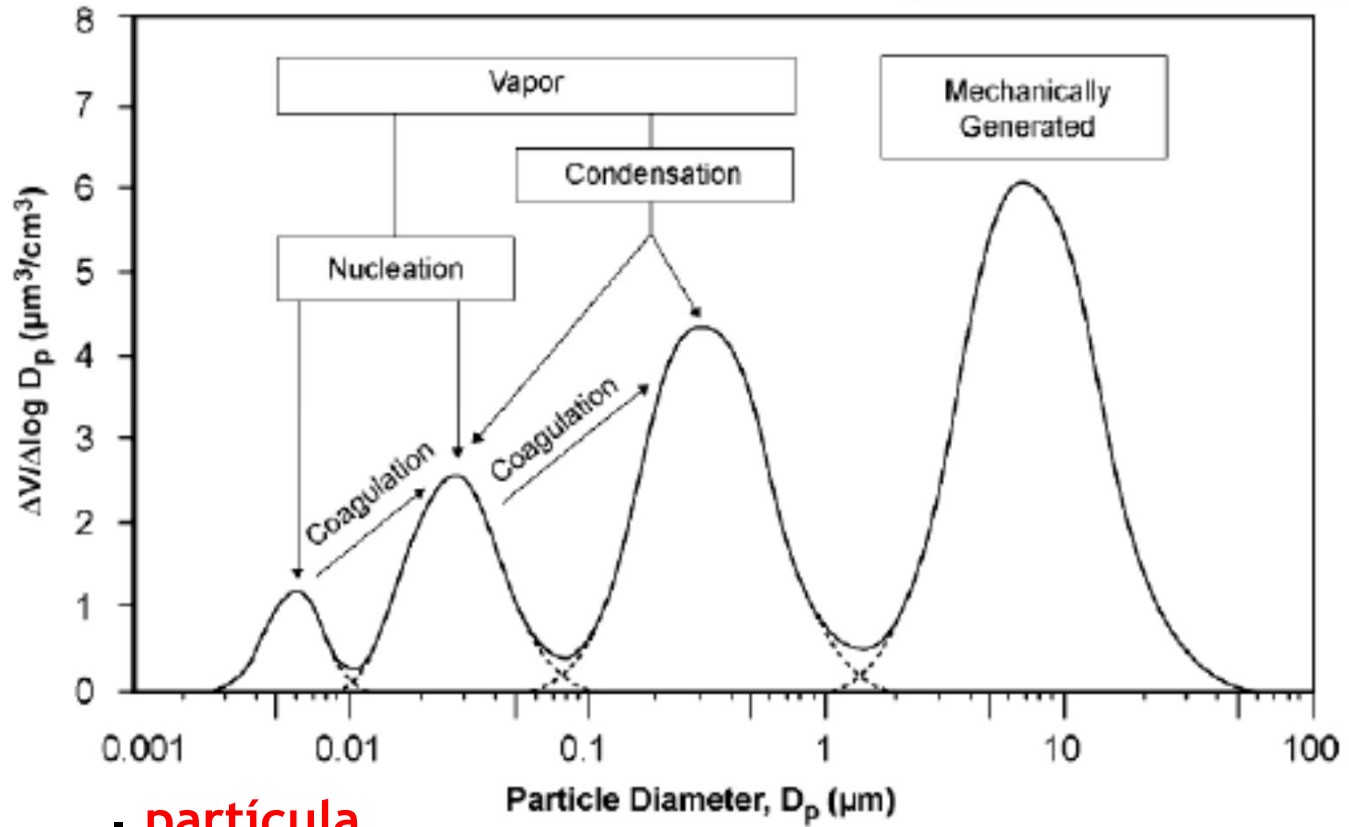
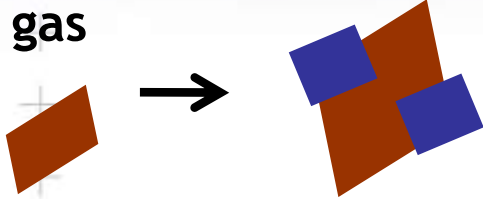
Fine Particles

Ultrafine Particles

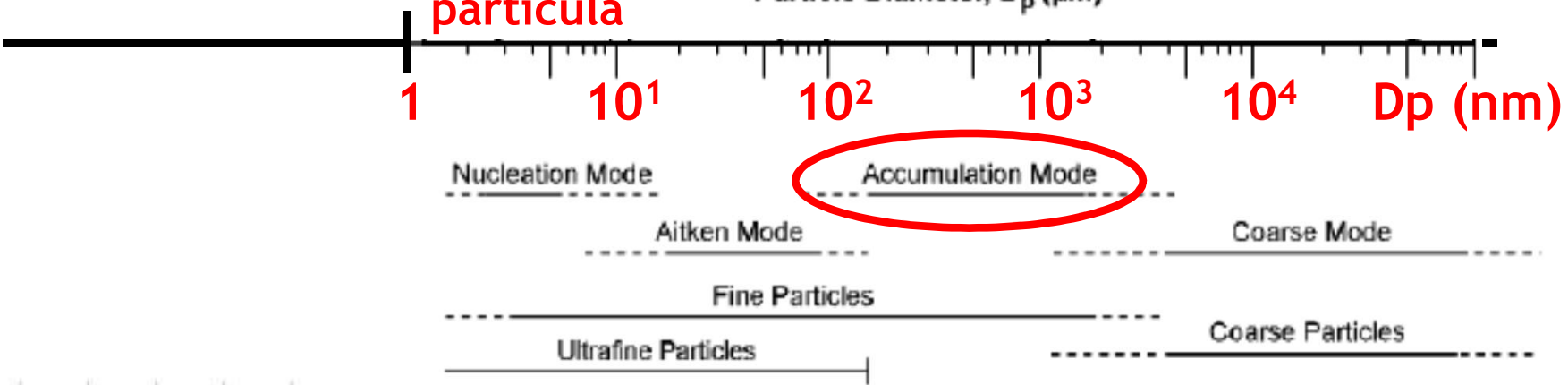
Coarse Particles

condensación

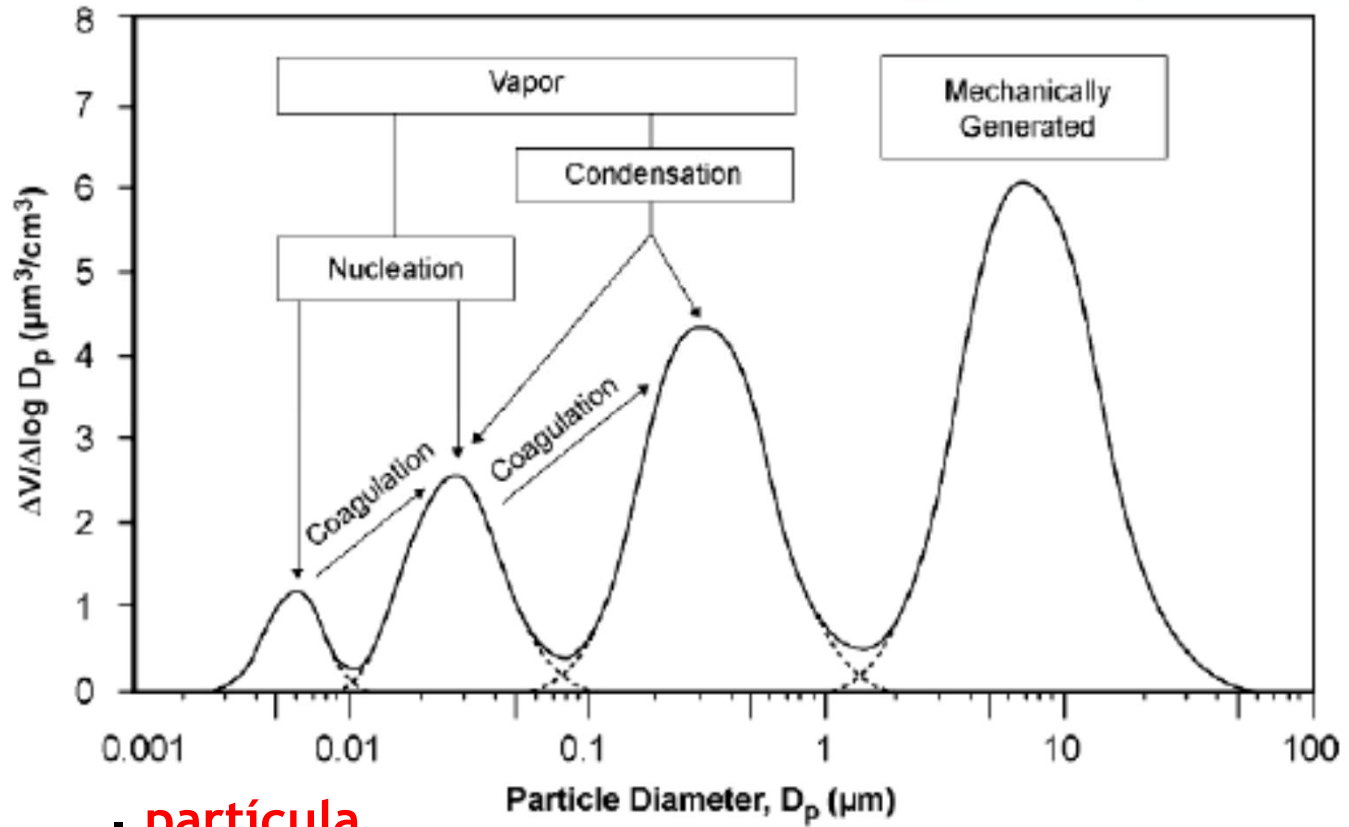
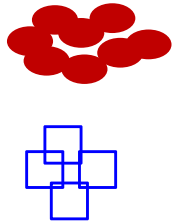
gas



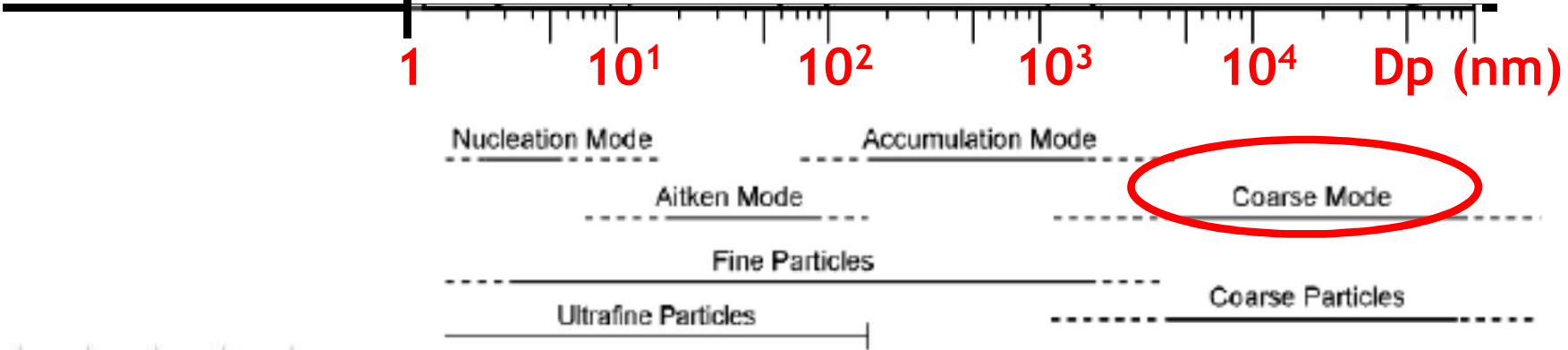
partícula



polvo
sal marina



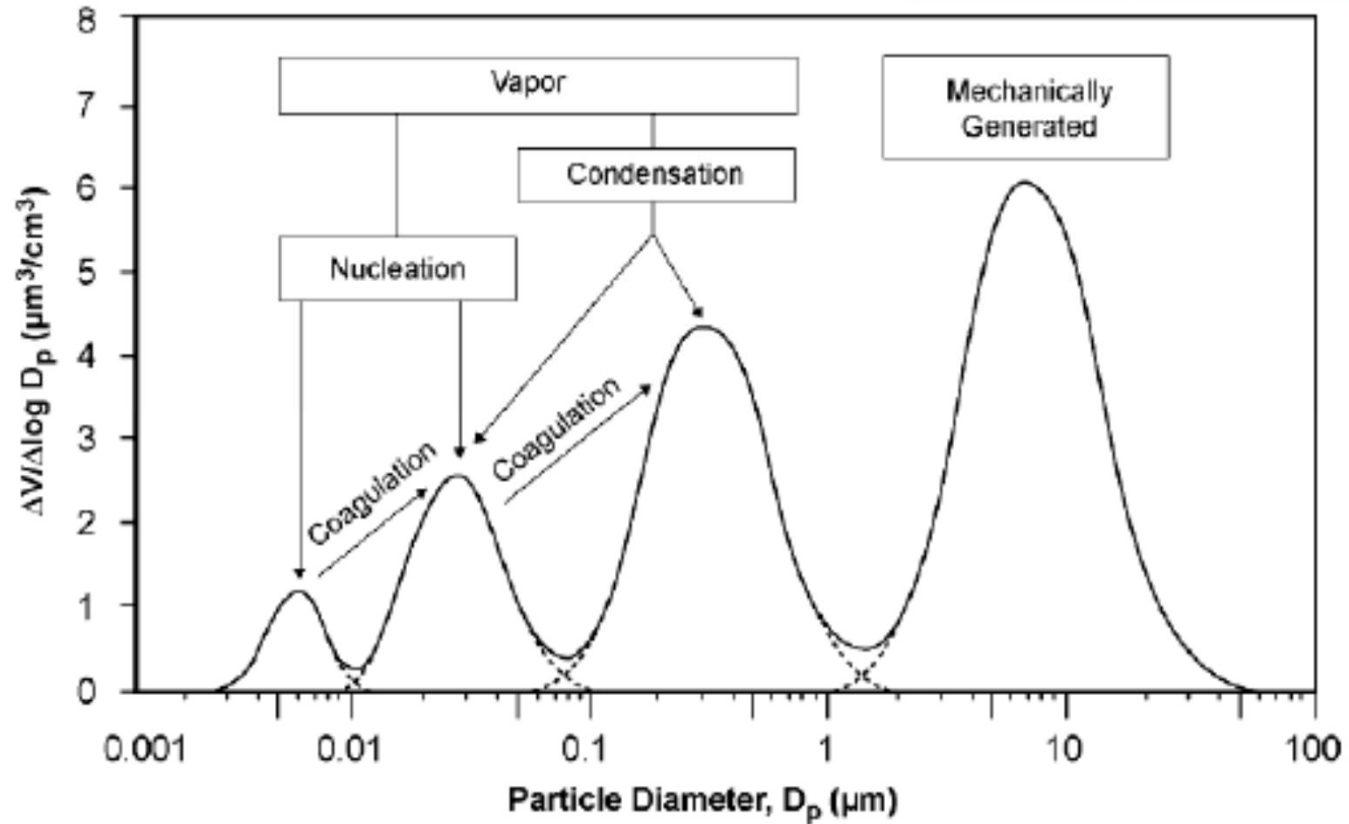
partícula



Tiempo de vida de los aerosoles

Las partículas de 0.1- 1 μm (moda de acumulación) presentan el mayor tiempo de residencia (2 semanas) :

Las que más contribuyen al background



ultrafinas
<0.1 μm

acumulación
0.1 - 1 μm

gruesas
1 - 10 μm

sumidero: difusión y coagulación

lluvia

deposición

tiempo de vida (1/2):

minutos a horas

días - semanas

horas - días

Origen de las partículas atmosféricas

Definiciones, fuentes naturales, fuentes antropogénicas, composición química, tamaño de partícula, calidad del aire.

Parámetros con los que se evalúa la calidad del aire en la legislación vigente

Directiva 2008/50/EU: Real Decreto 102/2011

Directiva 2004/107/CE

Directiva (UE) 2015/1480

valores límite para las concentraciones en aire ambiente de diversos contaminantes

SO₂, NO_x, NO₂, CO, O₃, benceno

PM₁₀, PM_{2.5}, Pb, As, Cd, Ni, benzopireno,

PM₁₀: concentración en masa de las partículas con tamaño aerodinámico inferior a 10 micras.

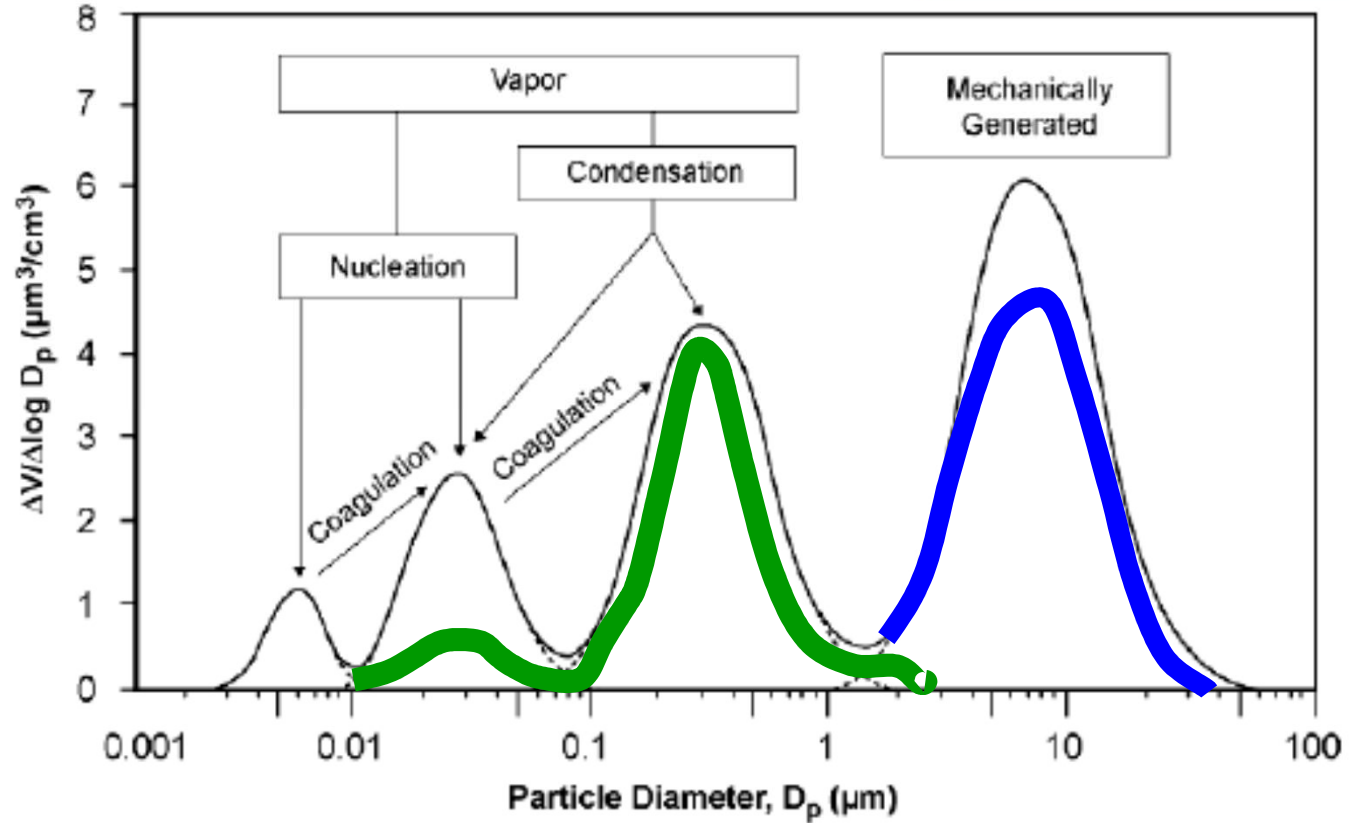
PM_{2.5}: concentración en masa de las partículas con tamaño aerodinámico inferior a 2.5 micras.

Calidad del Aire

PM₁₀

PM_{2.5}

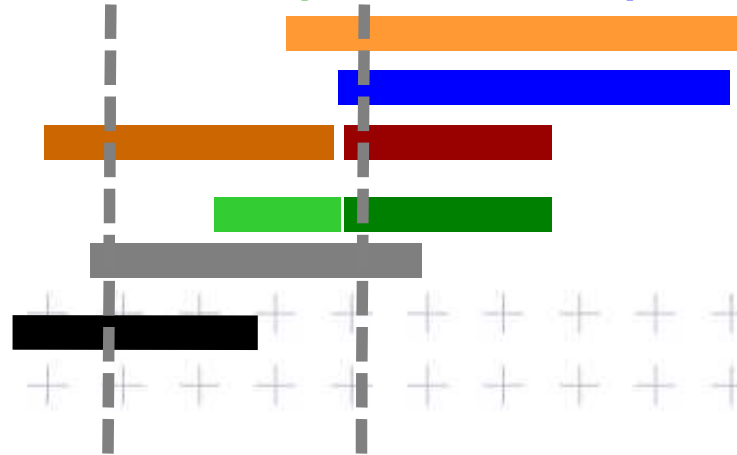
PM_{2.5-10}



ultrafinas
< 0.1 μm

acumulación
0.1 - 1 μm

gruesas
1 - 10 μm



mineral:

sal marina:

sulfato:

nitrato:

materia orgánica:

black carbon:

2. Efectos de la contaminación por partículas atmosféricas

Efectos en la salud, el ambiente urbano, agricultura y el medio ambiente.

Modulación del clima.

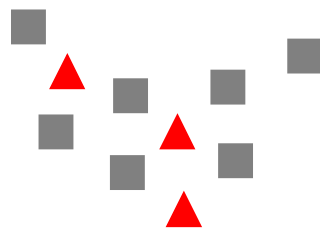
Impacto en la economía y el grado de desarrollo de las sociedades occidentales.

Influencia en el clima

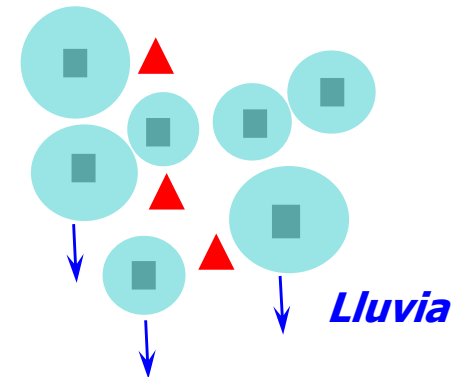
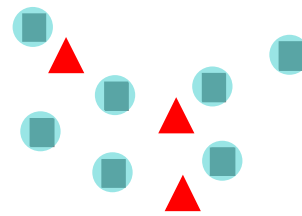
Influencia balance radiativo: efectos directos

Influencia en las precipitaciones

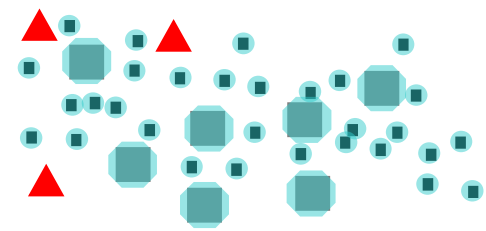
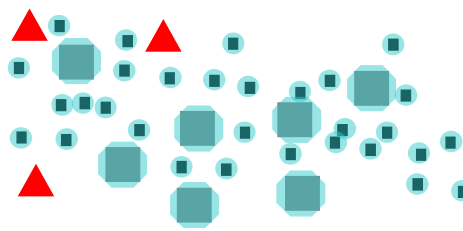
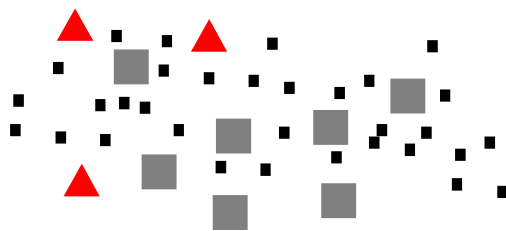
Aire limpio



sin partículas no habría nubes



Aire contaminado



2. Efectos de la contaminación por partículas atmosféricas

Efectos en la salud, el ambiente urbano, agricultura y el medio ambiente.

Modulación del clima.

Impacto en la economía y el grado de desarrollo de las sociedades occidentales.

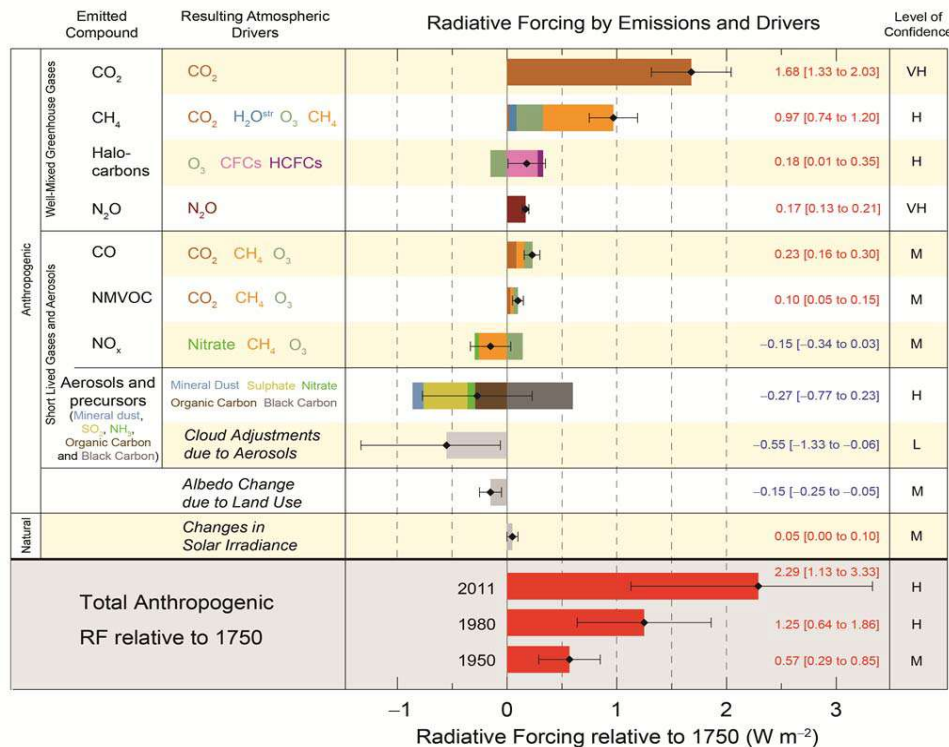
Influencia en el clima

Influencia balance radiativo: efectos directos

Influencia en las precipitaciones

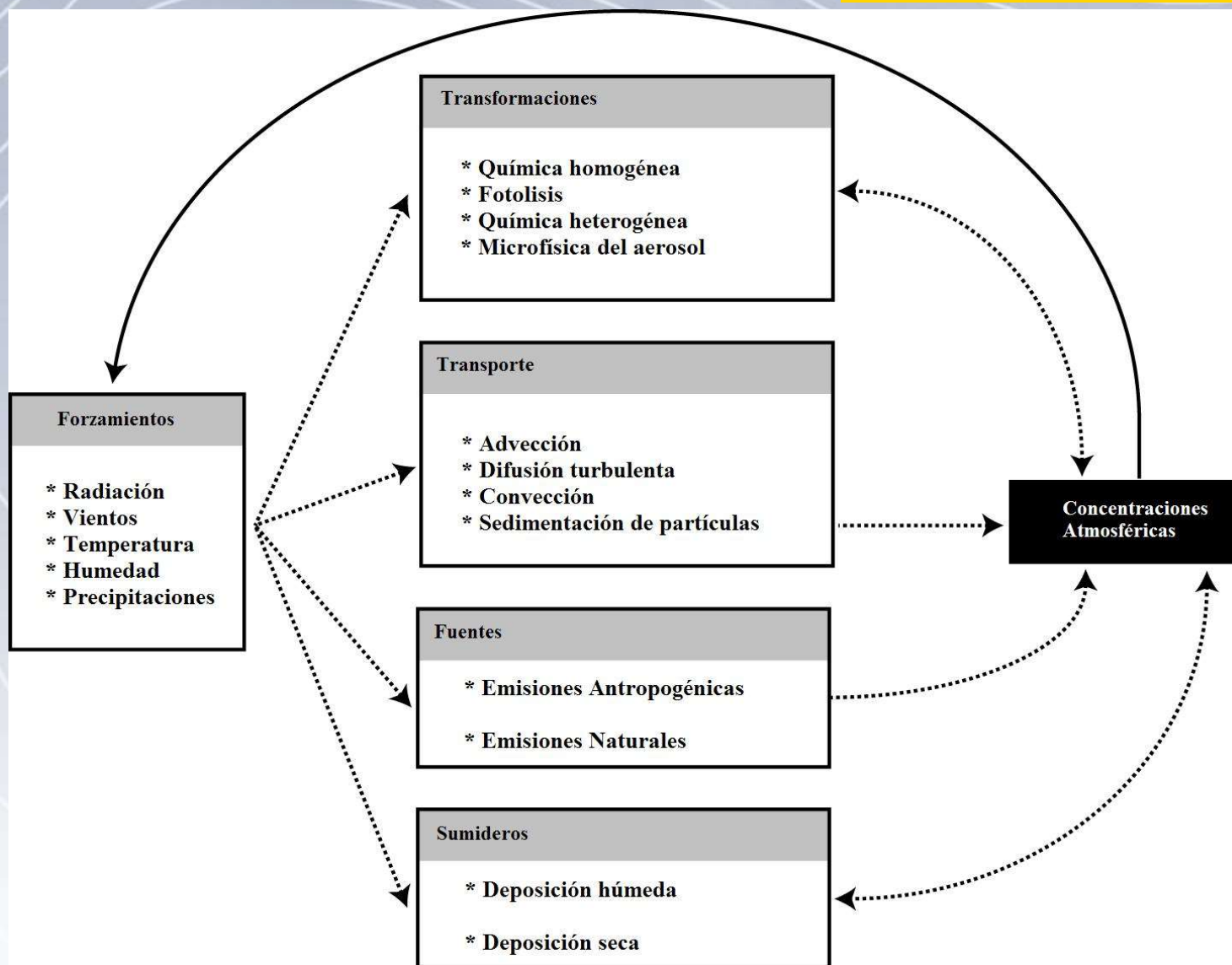
Influencia balance radiativo: efectos indirectos

la presencia de partículas disminuye el tamaño de las gotas de las nubes y aumenta el tiempo de vida de estas



Modelos de transporte químico

Procesos físico-químicos



Procesos físico-químicos



- Los **procesos de transporte** son los responsables de la exportación a distancia de las fuentes de emisión, tanto en la horizontal como en la vertical.
- Las concentraciones evolucionan tanto en las escalas resueltas por el modelo (advección, sedimentación de partículas de aerosol) como por las no resueltas (convección, difusión turbulenta, ...)
- Junto a los procesos de transporte, los gases y partículas se encuentran sometidas a la **fotólisis** y las **reacciones químicas en fase homogénea o heterogénea**.
- Además los aerosoles se encuentran sometidos a los **procesos microfísicos** de nucleación, condensación, coalescencia, ...
- Los **sumideros** de las especies químicas y de partículas intervienen a su vez en la columna atmosférica (deposición húmeda en las nubes y bajo ellas para partículas y gases hidrosolubles) y en la superficie (deposición seca).
- Las diferentes especies químicas, a su vez, ejercen un efecto de **retroalimentación** en los forzamientos meteorológicos a través de la **ecuación de transferencia radiativa** y de la **modificación eventual del ciclo hidrológico**.

Modelos de calidad del aire

La evolución de la atmósfera y su composición química en el tiempo se expresa mediante una serie de ecuaciones:

- Conservation of momentum
- Conservation of energy
- Conservation of mass
- Ideal gas law

Meteorological

Chemical gases

$$\frac{d}{dt}y_i(t) = f_i(y, t) = P_i(y, t) - L_i(y, t)y_i,$$

Photolysis

$$J_i = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda)\sigma_i(\lambda)\Phi_i(\lambda)d\lambda$$

Deposition

$$v_d(z) = \frac{1}{R_a + R_b + R_c}$$

Size distribution of aerosol

$$n(\ln d_p) = \frac{N}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(\ln d_p - \ln d_{pg})^2}{\ln^2 \sigma_g} \right]$$

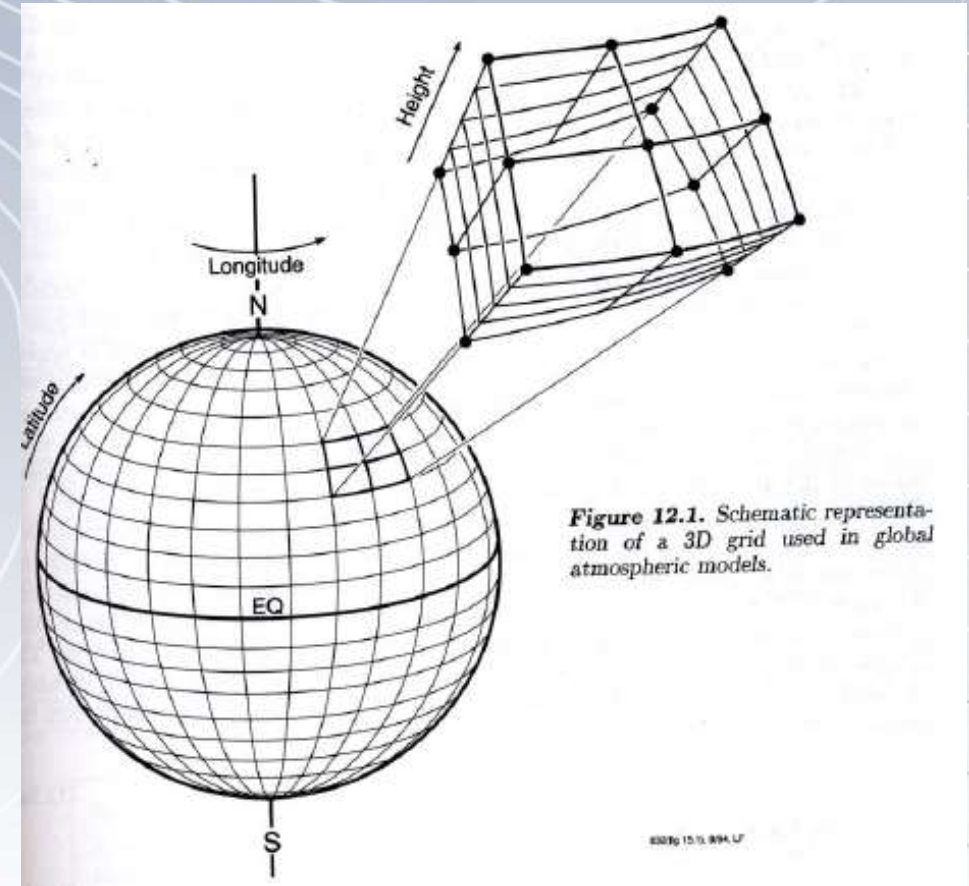
Aerosol conservation

$$\frac{\partial}{\partial t} M_k^* = -\nabla \cdot (\mathbf{v} M_k^*) - \frac{\partial}{\partial \sigma} (\sigma M_k^*) + \left(\frac{\partial M_k^*}{\partial t} \right)_{diff} + coag_{ki} + coag_{kj} + cond_{ki} + e_{ki}$$

Chemistry/aerosol transformation

Modelos de calidad del aire

- El modelo se coloca en una región de interés y la atmósfera se divide en cajas: con una rejilla en la horizontal y niveles en la vertical.
- El área de interés puede ser un área pequeña (ciudad), una región, un país, un continente o todo el globo.
- Dentro de esas cajas se consideran todos los procesos enumerados anteriormente.
- Los datos que conducen el modelo (emisiones, datos meteorológicos, condiciones de contorno, etc.) varían en el espacio y en el tiempo.
- Un modelo que cubra Europa, normalmente tiene una resolución entre 10 y 50km.



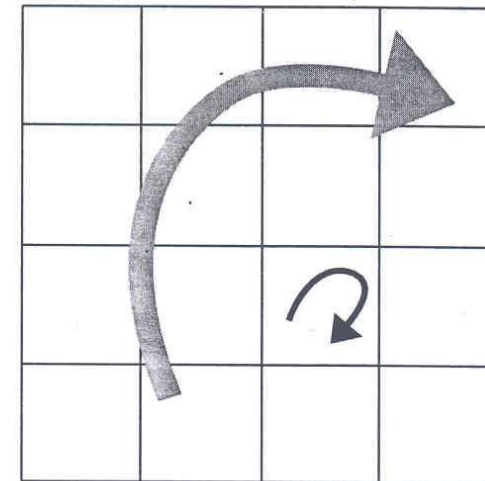
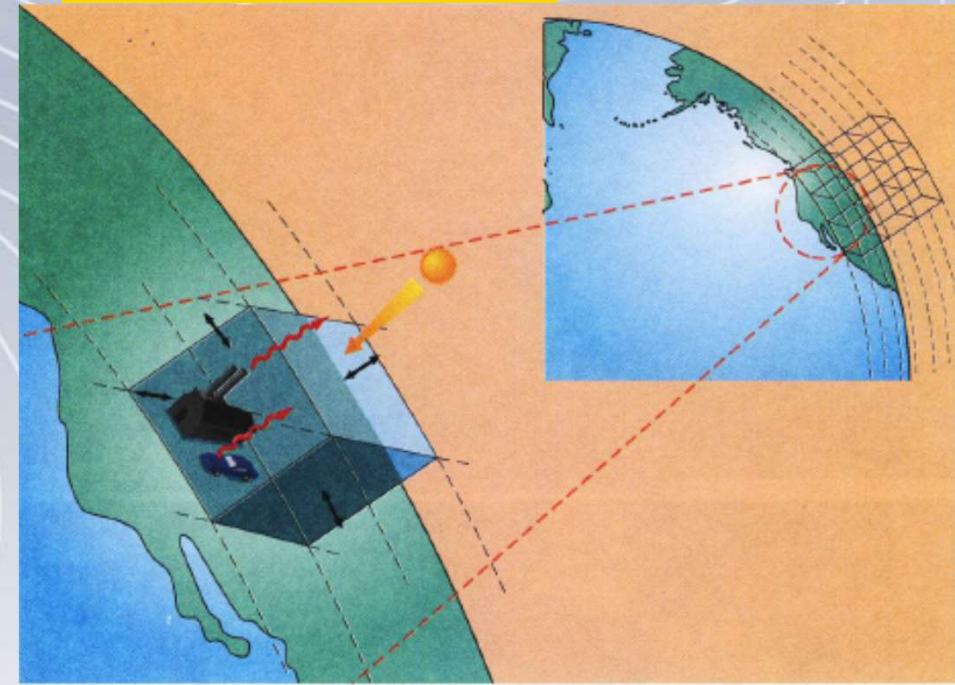
Modelos de calidad del aire

La resolución es el tamaño de las celdillas o cajas.

Una mayor resolución permite una mejor representación de los procesos que intervienen.

Una serie de procesos que no pueden ser resueltos explícitamente deben ser "parametrizados".

Se denomina **parametrización** de los procesos físicos y químicos al procedimiento mediante el cual se añaden términos adicionales en las ecuaciones que tienen en cuenta las contribuciones promediadas de los diferentes procesos "subrejilla".



Procesos necesarios en un modelo de calidad del aire



CONCENTRATION
CHANGE =

$$\text{EMIS} + \text{ADV}_{XY} + \text{ADV}_Z + \text{CONV}_Z + \text{TURB}_Z + \text{CHEM} + \text{PHYS} + \text{DRYDEP} + \text{WETDEP}$$

EMIS: Emisiones de contaminantes a la atmósfera

ADV: Advección con el viento medio

CONV: Transporte Convectivo; transporte vertical en nubes convectivas de escala subrejilla

TURB: Transporte turbulento; transporte vertical debido a la turbulencia de escala subrejilla

CHEM: Formación y destrucción de la especie química debido a las reacciones químicas

PHYS: Formación y destrucción de la especie química debido a la física

DRYDEP: Deposición seca de gases o partículas

WETDEP: Deposición húmeda

Datos de entrada en un modelo de calidad del aire



- **Datos de emisiones:**
 - Magnitud y especie
 - Localización (latitud, longitud y altura)
 - Variación temporal
- **Datos meteorológicos:**
 - Campos en 3 dimensiones variando en el tiempo
- **Características de la superficie** (uso y tipo de suelo, vegetación, etc.)
- **Varias suposiciones:**
 - Concentraciones en las condiciones de contorno
 - Parámetros en las deposiciones secas y húmedas
 - Velocidades de reacciones químicas
 - Velocidades de condensación gas-partícula
 - Etc.

Asimilación de Datos en un modelo de calidad del aire

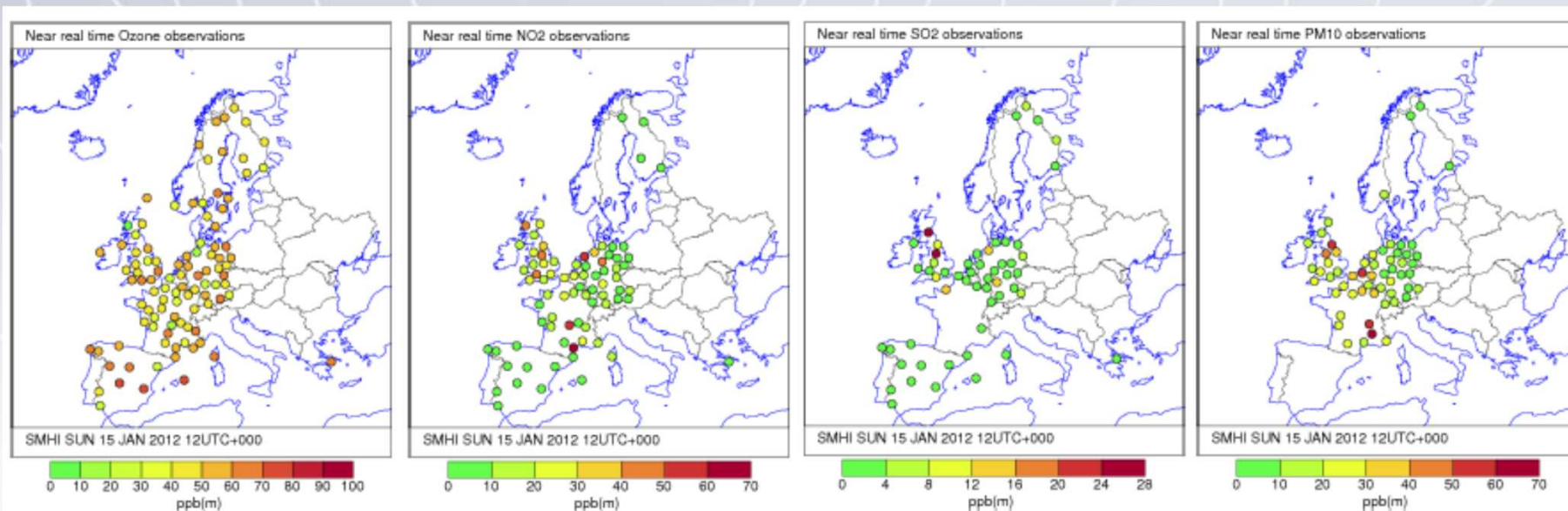


- La asimilación de datos consiste en mezclar las salidas de los modelos con los datos de observación para mejorar la predicción siguiente o para reanálisis.
- Existen varios métodos:
 - La interpolación óptima
 - La asimilación variacional 3D
 - Los “Ensembles Kalman Filter”
 - La asimilación variacional 4D
- Todas las técnicas de asimilación tratan de encontrar el análisis que minimice la distancia entre el modelo y las observaciones teniendo en cuenta los errores de ambos.

Datos de la composición química de la atmósfera utilizados en un modelo de calidad del aire



- Los datos utilizados se pueden dividir en tres categorías:
 - Medidas in-situ
 - Medidas de aeronaves (MOSAIC)
 - Medidas de satélite (GOME, ENVISAT, MODIS, etc.)
- Observaciones in-situ en NRT de O_3 , NO, NO_2 , SO_2 , CO, PM_{2.5} y PM₁₀ son proporcionadas diariamente por las instituciones medioambientales nacionales



¿Qué predecimos en un modelo?



- Contaminantes que nos (pre)ocupan:
 - Ozono (O₃)
 - Material Particulado (PM)
 - Monóxido de Carbono (CO)
 - Dióxido de azufre (SO₂)
 - Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Tóxicos (químicos, nucleares,...)
- Gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, otros)
- Gases destructores del ozono: CFC's (estratosfera)

¿Qué medimos y cómo?



- La contaminación la podemos medir de varias formas
 - **Concentración en razón de mezcla:** mide la cantidad de una cierta sustancia en una masa de aire grande.
 - **Concentración en Masa:** mide el peso de un contaminante en un volumen de aire. Unidades típicas: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o mg/m^3
 - **Índices de calidad del aire:**
 - Se suelen presentar varios niveles de calidad del aire en función de la presencia de mayor o menor cantidad de sustancias contaminantes
 - Suelen ir unidos a códigos de colores
 - Se prescinden de las unidades de medida
 - Ventaja: claridad para el usuario
- Las sustancias contaminantes se suelen medir en diferentes tiempos promedios (diezminutales, horarias, octohorarias,..)
- Los diferentes criterios de calidad del aire y valores límites, que deben respetarse según la legislación, son medidas promedio y son diferentes en función del tiempo de promediado.
- Los valores alcanzados pueden diferir sustancialmente dependiendo del tiempo de promediado considerado.

Modelos de aerosoles

¿Por qué modelos de aerosoles?



- Los aerosoles afectan a:
 - La visibilidad
 - La calidad del aire y a la salud
 - El balance radiativo de la Tierra (tiempo, clima)
 - Directamente interaccionando con la radiación solar y terrestre
 - Indirectamente involucrados en los procesos de microfísica de formación de nubes
- Los ciclos bioquímicos y a los ecosistemas (como nutrientes)
- El tráfico aéreo cuando ocurren erupciones volcánicas

¿Qué propiedades de los aerosoles debería ser capaz de simular un modelo para ser útil en los campos considerados?

Propiedades de los aerosoles

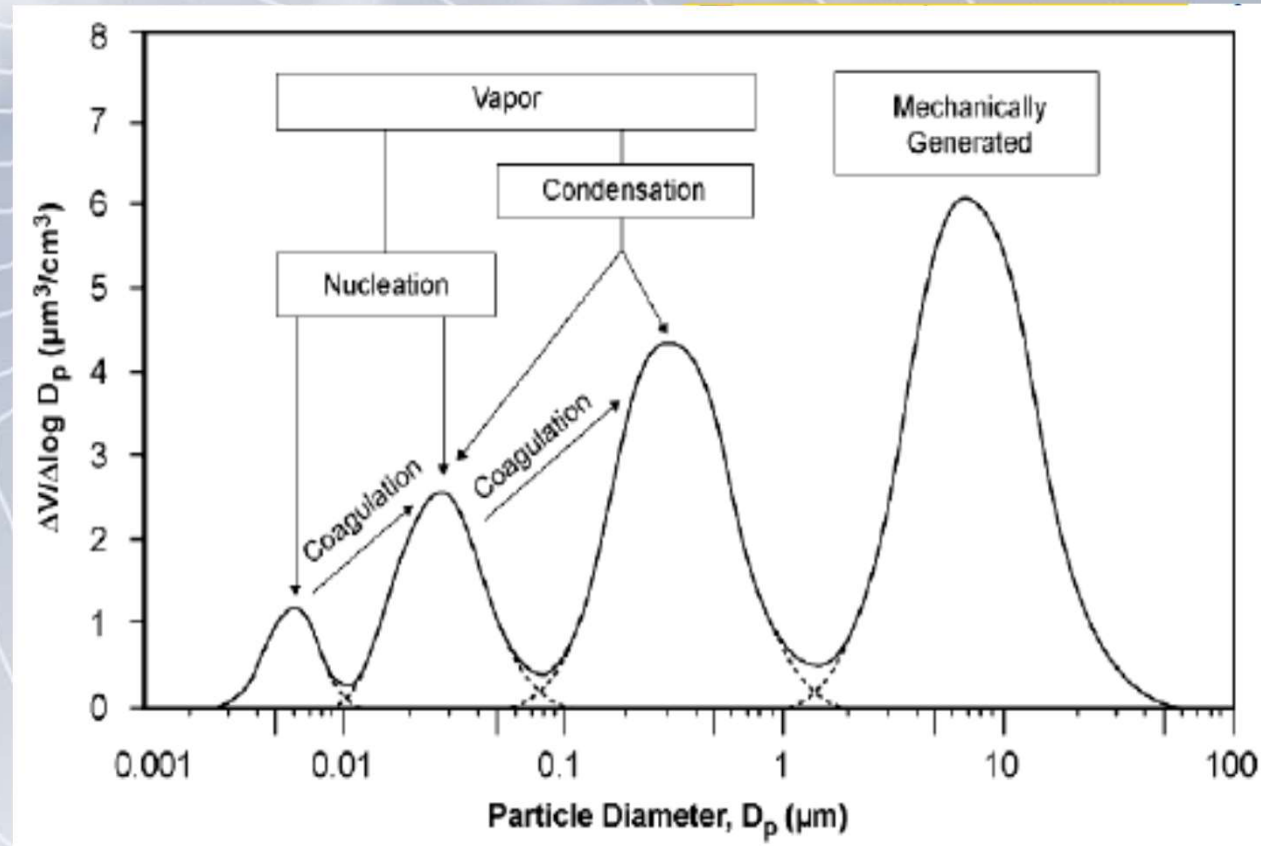


- Concentración en masa
 - Concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o en razón de mezcla $\text{Kg}(\text{aerosol})/\text{Kg}(\text{aire seco})$
- Distribución del número de aerosoles por tamaño
 - En función del radio de la partícula
 - Los máximos locales se llaman modas.
- Composición química
 - Muestra grandes variaciones espaciales y temporales
- Modo de producción
- Estado de mezcla
 - Mezcla externa: mezcla de varias partículas con diferente composición
 - Mezcla interna: múltiples materiales en la misma partícula
- Solubilidad y crecimiento higroscópico
 - Factor de crecimiento $r(\text{húmedo})/r(\text{seco})$
- Forma
 - Los modelos suelen asumir que los aerosoles son esféricos

Tiempo de vida de los aerosoles

Las partículas de 0.1- 1 μm (moda de acumulación) presentan el mayor tiempo de residencia (2 semanas) :

Las que más contribuyen al background



ultrafinas
<0.1 μm

acumulación
0.1 - 1 μm

gruesas
1 - 10 μm

sumidero: difusión y coagulación

lluvia

deposición

tiempo de vida
(1/2):

minutos a horas

días -
semanas

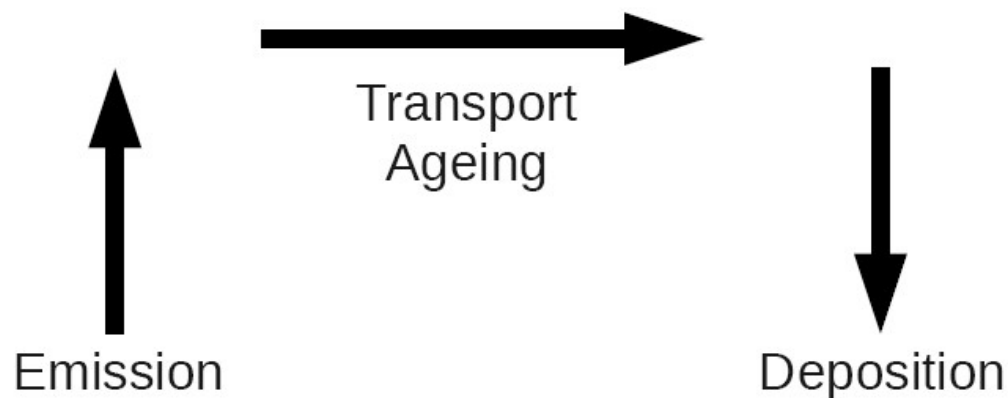
horas - días

Principales especies químicas en los aerosoles

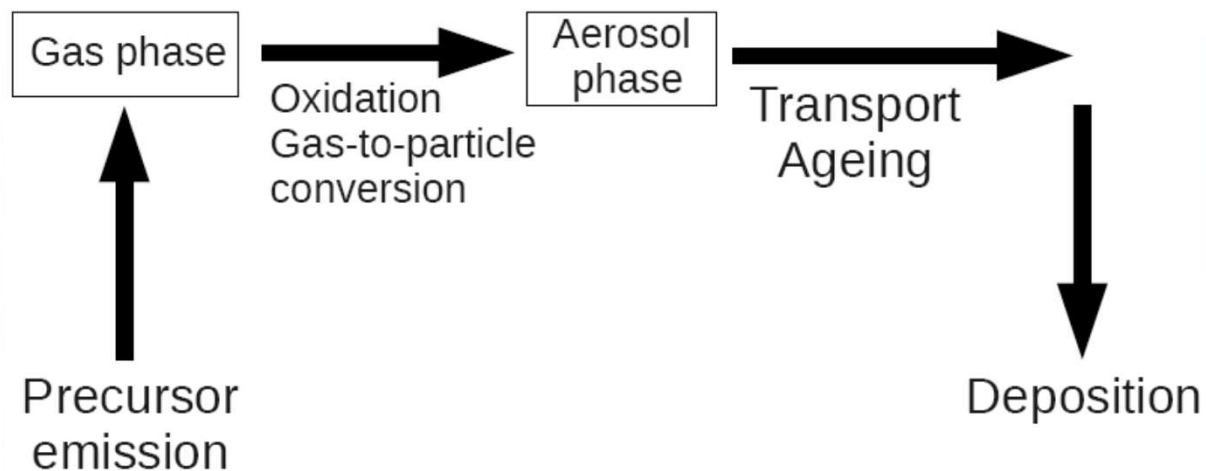
- Sulfatos (ión SO_4^{2-})
 - Encontrado como ácido sulfúrico H_2SO_4 y sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- Nitratos (ión NO_3^-)
 - Encontrado como ácido nítrico HNO_3 y nitrato de amonio NH_4NO_3
- Polvo mineral
 - Óxidos (de silicio, de hierro), carbonato cálcico, ...
- Sal marina (NaCl)
- Compuestos de carbono
 - “Black Carbon”, materia orgánica

Esquema de un modelo de aerosoles

- Summary diagram for primary aerosols



- Summary diagram for secondary aerosols



(The gaseous precursor also experiences transport and deposition.)

Emisiones

- Las emisiones de aerosoles antropogénicos se obtienen de los inventarios de emisiones:
 - globales o regionales
 - Mensuales, estacionales, anuales, etc.
- Las emisiones de aerosoles naturales se calculan a partir de parametrizaciones utilizando las variables meteorológicas cuando se dispone de ellas:
 - Viento, humedad del suelo, temperatura

Emisiones

Gaseous precursor	Primary aerosol	Anthropogenic emission rate	Natural emission rate
Sulphur dioxide (SO ₂)		50-90 Tg[S] yr ⁻¹	10 Tg[S] yr ⁻¹
Ammonia (NH ₃)		20-50 Tg[N] yr ⁻¹	10 Tg[N] yr ⁻¹
Volatile organic compounds		5-40 Tg[C] yr ⁻¹	80-200 Tg[C] yr ⁻¹
	Carbonaceous aerosols from fossil fuels	20-50 Tg[C] yr ⁻¹	
	Carbonaceous aerosols from biomass burning	50-90 Tg[C] yr ⁻¹	20-40 Tg[C] yr ⁻¹
	Mineral dust	40-130 Tg yr ⁻¹	1000-3000 Tg yr ⁻¹
	Sea-salt		2000-10000 Tg yr ⁻¹
Dimethylsulphide (DMS)			10-60 Tg[S] yr ⁻¹

Procesos Atmosféricos



- Química Atmosférica
 - Oxidación
- Conversión del gas en aerosol
 - Nucleación, condensación
- Ciclo de vida del aerosol
 - En procesos dentro de las nubes, coalescencia, envejecimiento
- Dinámica Atmosférica
 - Transporte
- Sumideros del aerosol
 - Deposición húmeda, deposición seca, sedimentación

Sumideros

- Deposición seca
 - Debida a la turbulencia cercana a la superficie
- Sedimentación
 - Debida a la gravedad
- Lluvia
 - Eliminación de aerosoles que están disueltos en gotas de nube
- Lavado
 - Aerosoles debajo de las nubes que son arrastrados por precipitación

¿Qué procesos son los más eficientes eliminando aerosoles?

Sumideros



- Lluvia y lavado
 - Muy eficientes pero dependen de que exista precipitación.
- Sedimentación
 - Eficiente para aerosoles gruesos (coarse-mode) y para los de moda acumulación en la estratosfera.
- Deposición seca
 - Eficiente para los aerosoles de moda Aitken (los más finos).
- Resuspensión de aerosoles depositados y re-evaporación puede ser también mecanismos en disminuir la eficiencia de la eliminación de aerosoles en la atmósfera.

Inventarios de Emisiones

Introducción

- Las emisiones constituyen una parte crítica en el buen funcionamiento de los modelos de calidad del aire
- La inexactitud en los datos de emisiones usados introduce una mayor incertidumbre en los resultados de los modelos
- Dentro de la mejora en las predicciones de calidad del aire, es indispensable encontrar referencias fiables y actualizadas de dichas emisiones
- Es fundamental su correcta implementación en los modelos de calidad del aire -
>Desarrollo de metodologías para poder simular su distribución espacial y evolución temporal
- Adicionalmente, necesarios para asuntos de política ambiental (Techos de emisión, EIAs, ...)

Contenido de los inventarios de emisiones

- Emisiones clasificadas por especie química
- Clasificación según la actividad emisora (Modelización → SNAP)
- Distribución espacial interpoladas a una malla de resolución dada
- Emisiones acumuladas en un cierto período de tiempo (anuales) expresadas en unidades masa/tiempo (toneladas/año)
- Factores de distribución temporal de las emisiones (mes, día de la semana, hora)

Actividades emisoras



- Las actividades emisoras se clasifican según la nomenclatura SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) desarrollada por el proyecto EMEP (*European Monitoring and Evaluation Programme*)/CORINAIR - EEA ([Convention on Long-range Transboundary Air Pollution \(LRTAP\)](#), Ginebra 1979)
- Objetivo EMEP/CORINAIR → Estimación de las emisiones de contaminantes a la atmósfera, generadas por diversas actividades de origen antrópico o naturales
- La clasificación atiende a un criterio mixto económico y tecnológico
- La última versión [SNAP-97](#) se estructura en tres niveles jerárquicos:
 - Grupo: Consta 11 divisiones grandes categorías de actividades antropogénicas y naturales
 - Subgrupo: Divide la anterior en 78 clases según especificaciones tecnológicas y socioeconómicas
 - Actividad: Contiene 481 actividades elementales + 17 subgrupos no desagregados

Grupos de la nomenclatura SNAP

- | | |
|----|--|
| 01 | Combustión en la producción y transformación de energía |
| 02 | Plantas de combustión no industrial |
| 03 | Plantas de combustión industrial |
| 04 | Procesos industriales sin combustión |
| 05 | Extracción y distribución de combustibles fósiles y energía geotérmica |
| 06 | Usos de disolventes y otros productos |
| 07 | Transporte por carretera |
| 08 | Otros modos de transporte y maquinaria móvil |
| 09 | Tratamiento y eliminación de residuos |
| 10 | Agricultura |
| 11 | Otras fuentes y sumideros (Naturaleza) |

Desagregación temporal

Des

category	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
1 Power generation	1.20	1.15	1.05	1.00	0.90	0.85	0.80	0.87	0.95	1.00	1.08	1.15
2 Residential, commercial and other combustion	1.70	1.50	1.30	1.00	0.70	0.40	0.20	0.40	0.70	1.05	1.40	1.65
3 Industrial combustion	1.10	1.08	1.05	1.00	0.95	0.90	0.93	0.95	0.97	1.00	1.02	1.05
4 Industrial processes	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.00	0.84	1.02	1.02	1.02	0.90

category	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
1 Power generation	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	0.85	0.85
2 Residential, commercial and other combustion	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	0.8	0.8
3 Industrial combustion	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	0.8	0.8
4 Industrial processes	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
5 Extraction distribution of fossil fuels	1	1	1	1	1	1	1
6 Solvent use	1.2	1	1	1	1	1	1
7a Road transport gasoline	1.02	1	1	1	1	1	1
7b Road transport diesel	1.02	1	1	1	1	1	1
7c Road transport evaporation	1.02	1	1	1	1	1	1
8 Other mobile sources and machinery	1	1	1	1	1	1	1
9 Waste treatment and disposal	1	1	1	1	1	1	1

category	Hour of day											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 Power generation	1.17	1.15	1.14	1.13	1.10	1.07	1.04	1.02	1.02	1.01	0.96	0.88
2 Residential, commercial and other combustion	1.07	1.06	1.00	0.98	0.99	1.12	1.41	1.52	1.39	1.35	1.00	0.42
3 Industrial combustion	1.22	1.24	1.25	1.16	1.08	1.01	0.95	0.90	0.85	0.81	0.78	0.75
4 Industrial processes	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5 Extraction distribution of fossil fuels	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6 Solvent use	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.40	1.25	1.10	1.00	0.90	0.80	0.70
7a Road transport gasoline	1.32	1.44	1.45	1.59	2.03	2.08	1.51	1.06	0.74	0.62	0.61	0.44
7b Road transport diesel	1.32	1.44	1.45	1.59	2.03	2.08	1.51	1.06	0.74	0.62	0.61	0.44
7c Road transport evaporation	1.32	1.44	1.45	1.59	2.03	2.08	1.51	1.06	0.74	0.62	0.61	0.44
8 Other mobile sources and machinery	1.32	1.44	1.45	1.59	2.03	2.08	1.51	1.06	0.74	0.62	0.61	0.44
9 Waste treatment and disposal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10 Agriculture	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

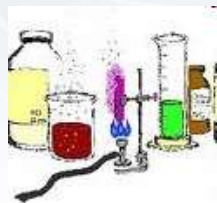
category	Hour of day											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Power generation	0.79	0.72	0.72	0.71	0.74	0.80	0.92	1.08	1.19	1.22	1.21	1.21
2 Residential, commercial and other combustion	0.38	0.36	0.36	0.36	0.37	0.50	1.19	1.53	1.57	1.56	1.35	1.16
3 Industrial combustion	0.75	0.75	0.78	0.82	0.88	0.95	1.02	1.09	1.16	1.22	1.28	1.30
4 Industrial processes	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5 Extraction distribution of fossil fuels	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

OTEP

Modelo de transporte químico en AEMET: Modelo MOCAGE

Modelo MOCAGE: Modelo de transporte químico y de aerosoles

- Modelo del Servicio Meteorológico Francés: Météo-France.
- Su dominio se extiende desde el suelo hasta la estratosfera.
- Incorpora química de gases y aerosoles.
- Algoritmos eficientes para largas integraciones.



Modelo MOCAGE: Modelo de transporte químico y de aerosoles



Acuerdo de colaboración entre Météo-France y AEMET

- MOCAGE es el CTM que se ha elegido en AEMET para proporcionar predicciones de la calidad del aire en nuestro país.
- MOCAGE ha sido desarrollado por Météo-France
- Existe un acuerdo de colaboración entre MF y AEMET para dar base legal al uso de MOCAGE en AEMET.
- No existe contraprestación económica de AEMET a MF.
- Uso **no comercial** y **limitado** de MOCAGE por parte de AEMET

Características generales del Modelo MOCAGE

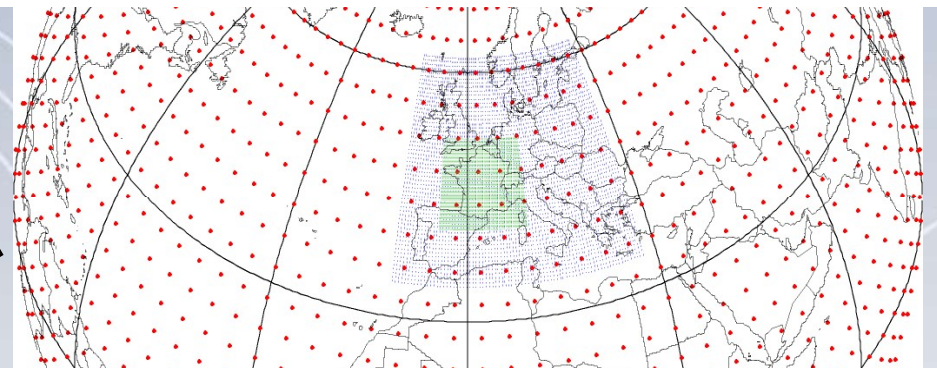


- MOCAGE es un modelo de transporte químico (CTM) 3D que proporciona simulaciones numéricas de las interacciones entre los procesos dinámicos, físicos y químicos en la atmósfera (troposfera y baja estratosfera).
- Simula la evolución de las especies químicas en la atmósfera debido a los fenómenos de transporte (advección, difusión turbulenta y convección), a las transformaciones químicas que puedan sufrir y a su eliminación por mecanismos de deposición seca y húmeda o por decaimiento radiactivo.
- El esquema químico tiene en cuenta 112 especies y 377 reacciones químicas.
- MOCAGE tiene en cuenta 13 aerosoles de los que 4 son aerosoles primarios: polvo mineral, sal marina, “black carbon” y carbono orgánico. Describe la formación de aerosoles secundarios inorgánicos a partir de gases (nitratos, sulfatos, amonio, etc.).
- La distribución del tamaño de los aerosoles en MOCAGE se aproxima por un conjunto de bins o categorías de tamaños. Para cada aerosol primario se definen 6 bins.
- Microfísica de aerosoles: Nucleación, Condensación/Evaporación y Coagulación.
- Resolución horizontal y área variables (hasta tres niveles de anidamiento).
- Resolución vertical 47 niveles híbridos hasta aproximadamente 60 Km.

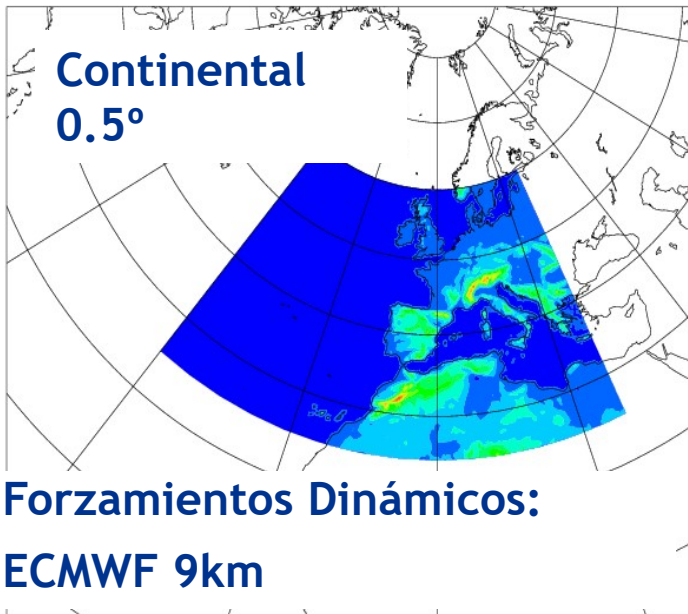
Configuración del modelo MOCAGE en AEMET

- a) Modelo GLOBAL
- b) Permite hasta 3 niveles de anidamiento
- c) Convenio AEMET-METEOFRACTANCE
- d) AEMET: Configuración Prevista
 - GLOBAL 2°
 - Continental 0.5°
 - Nacional 0.1°

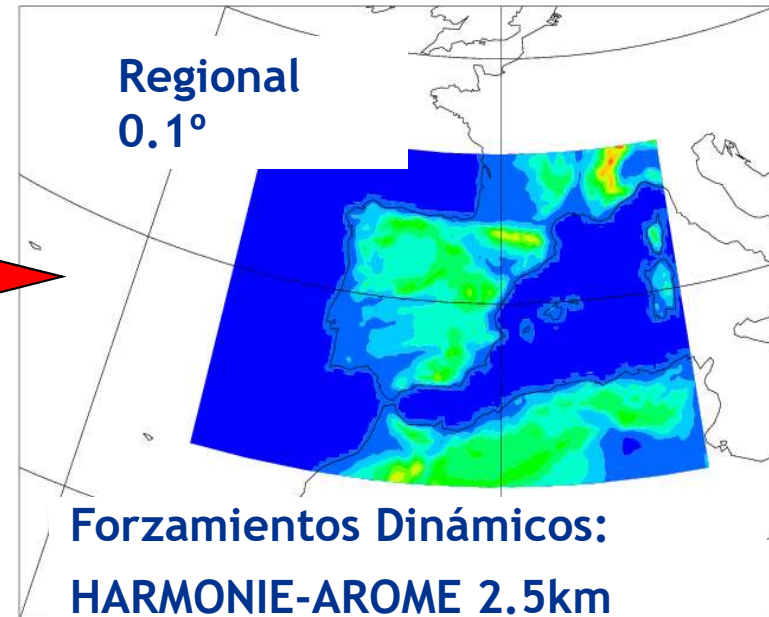
GLOBAL
2°
Forzamientos Dinámicos:
ECMWF (niveles altos), ARPEGE-MF
(superficie)



Analysis VT:Friday 18 May 2007 06UTC 0m geopotential height
MOCAGE: INM MAIN AREA



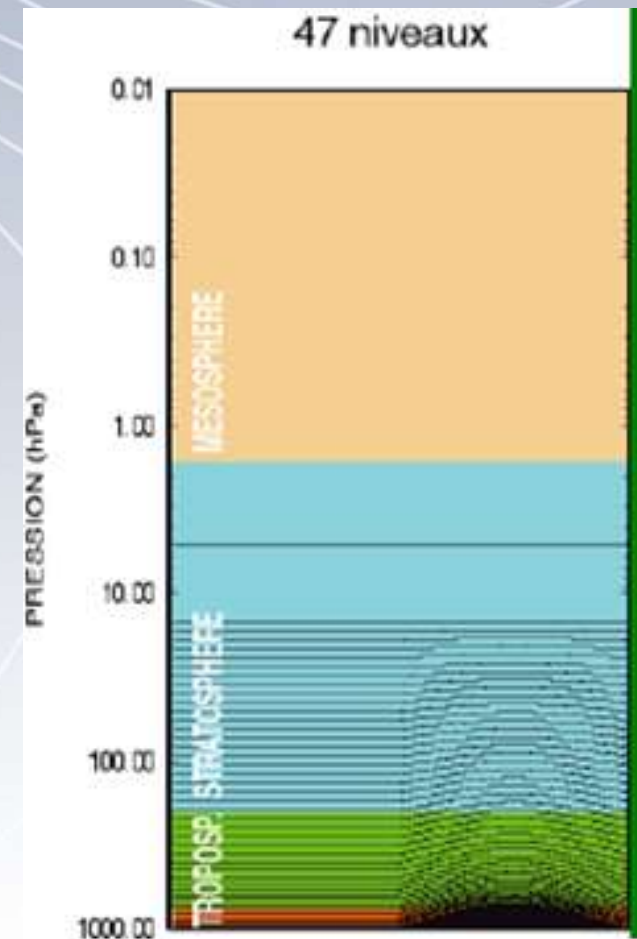
Analysis VT:Friday 18 May 2007 06UTC 0m geopotential height
MOCAGE: INM NESTED AREA



Descripción del modelo MOCAGE



- MOCAGE utiliza una coordenada vertical híbrida que sigue la orografía cerca del suelo y las isobaras en los niveles superiores.
- **Resolución vertical de MOCAGE en AEMET:** el modelo tiene 47 niveles híbridos en la vertical que se extienden hasta unos 60 km de altura, aproximadamente 7 en la capa límite, 20 en la troposfera y otros 20 en la estratosfera.
- Las condiciones de contorno en el límite superior se construyen a partir de una climatología y en el inferior a partir de flujos de emisión y flujos de deposición.



Descripción del modelo MOCAGE



- Las concentraciones se calculan en pasos de tiempo Δt , de modo que conocidas las concentraciones en un tiempo t se calculan para un tiempo $t+\Delta t$ teniendo en cuenta los cambios debidos a los distintos procesos que intervienen. Se repite sucesivamente hasta completar el periodo de predicción.

CONCENTRATION
CHANGE =

$$\text{EMIS} + \text{ADV}_{XY} + \text{ADV}_Z + \text{CONV}_Z + \text{TURB}_Z + \text{CHEM} + \text{PHYS} + \text{DRYDEP} + \text{WETDEP}$$

- En MOCAGE / AEMET el paso de tiempo utilizado varía dependiendo del proceso considerado: 60 minutos para la advección, 30 para la convección y 15 para el resto

¿Qué necesita MOCAGE para ejecutarse?

- **Estado inicial** (concentraciones en $t=0$) en los tres dominios considerados
 - Posibilidad de incorporar asimilación de datos
 - Se utilizan las salidas de una pasada anterior
- **Emisiones** horarias a lo largo del periodo de predicción en los tres dominios considerados
 - Se preparan en un pre-proceso previo a la ejecución del modelo a partir de inventarios de emisiones.
- **Forzamientos meteorológicos** a lo largo del periodo de predicción para los tres dominios considerados
 - Se preparan en un pre-proceso previo a la ejecución del modelo a partir de las salidas de modelos de predicción del tiempo
- **Velocidades de deposición** (horarias) a lo largo del periodo de predicción en los tres dominios considerados para el proceso de deposición seca
 - Se preparan en un pre-proceso previo a la ejecución del modelo utilizando campos meteorológicos en superficie procedentes de modelos de predicción del tiempo

FORZAMIENTOS METEOROLÓGICOS

- Los ficheros meteorológicos de entrada a MOCAGE contienen campos meteorológicos analizados y previstos hasta un alcance temporal de 48 horas
- **Forzamientos meteorológicos en altura:** campos trihorarios de T, q, u, v, w, Ps
 - GLOB22 → IFS/ECMWF (res. 9km)
 - INML05 → IFS/ECMWF (res. 9km)
 - INMH01 → HARMONIE-AROME(res 2.5km)
- **Forzamientos meteorológicos en superficie:** campos horarios de variables meteorológicas en superficie → velocidades de deposición
 - GLOB22 → Arpege
 - INML05 → ECMWF
 - INMH01 → HARMONIE-AROME

Descripción del modelo MOCAGE



EMISIONES (continuación)

- Flujos de emisión para el dominio GLOB22:
Ficheros proporcionados diariamente por Météo-France a partir de inventarios (IPCC)
- Flujos de emisión para los dominios INML05 y INMH01:
Se generan en AEMET dos veces al día con el software SUMO2 a partir de inventarios sobre Europa. Preferentemente
 - TNO-MACCI3 2011 (Europa): 7 km x 7 km

Pero para aquellas especies que no están contenidas o aquellas zonas que no cubre se utiliza:

- EMEP (Europa): 10 km x 10 km
- Emisiones dinámicas de especies como polvo mineral y sal marina

Sistema de Predicción de la Calidad del Aire en AEMET



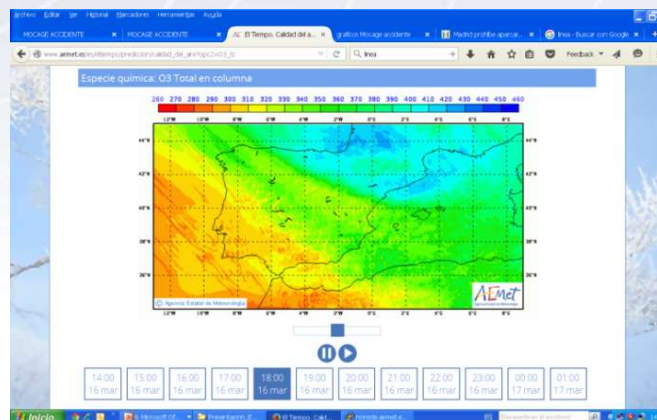
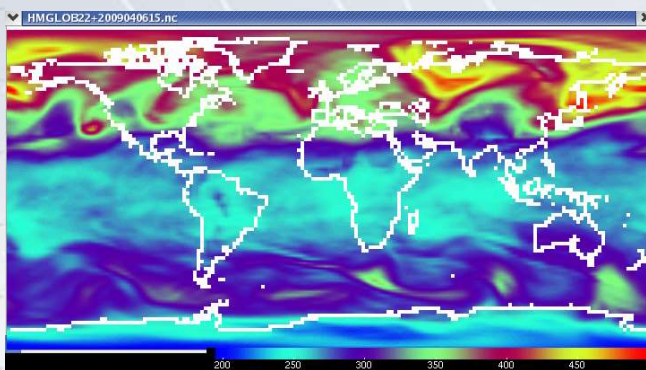
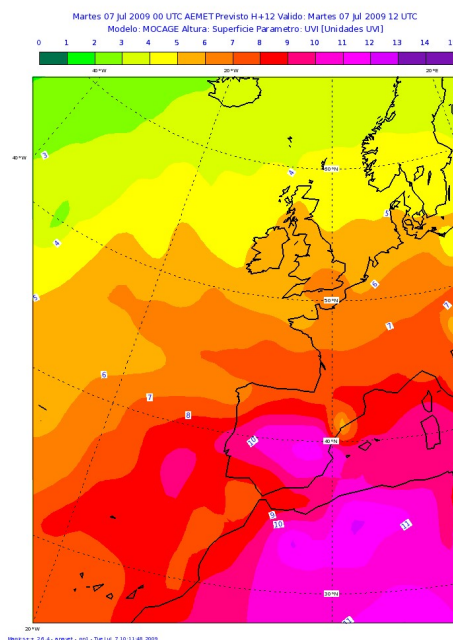
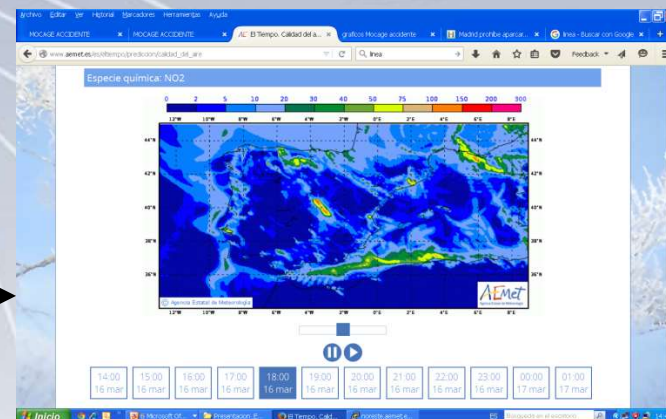
MOCAGE

http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/calidad_del_aire

Inicio > El tiempo > Predicción > Calidad del aire

Predicciones horarias hasta H+48 de:

- SO₂
- NO
- NO₂
- O₃ (columna total y por niveles)
- CO
- PM10 y PM2.5
- Radiación UV → UVI (en condiciones nubosas)
- 112 especies químicas en el esquema químico

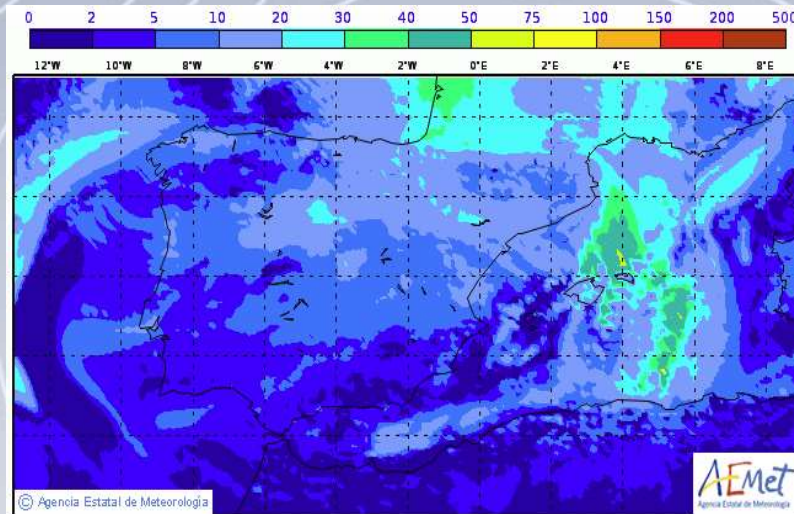


Sistema de Predicción de la Calidad del Aire en AEMET

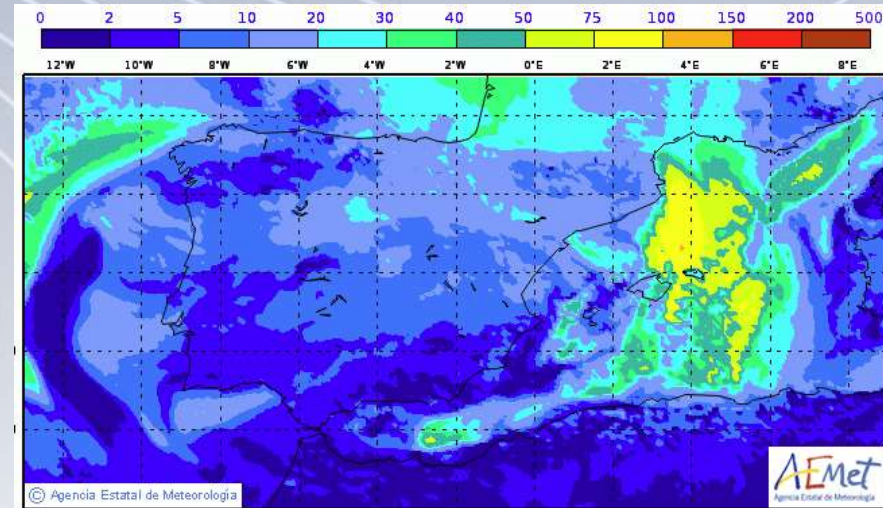
http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/calidad_del_aire

Inicio > El tiempo > Predicción > Calidad del aire

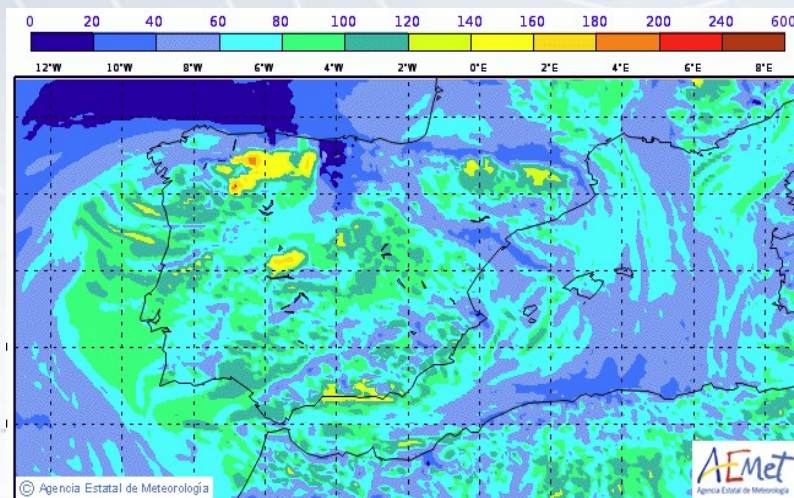
PM2.5



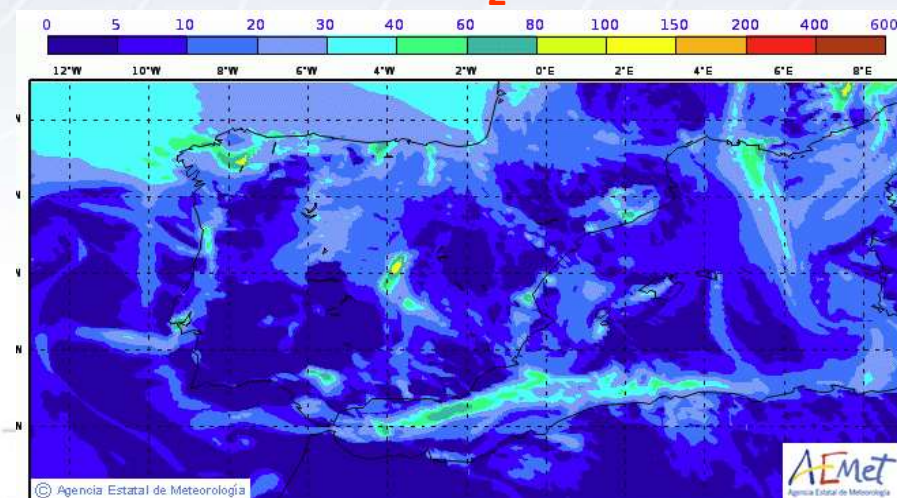
PM10



O₃

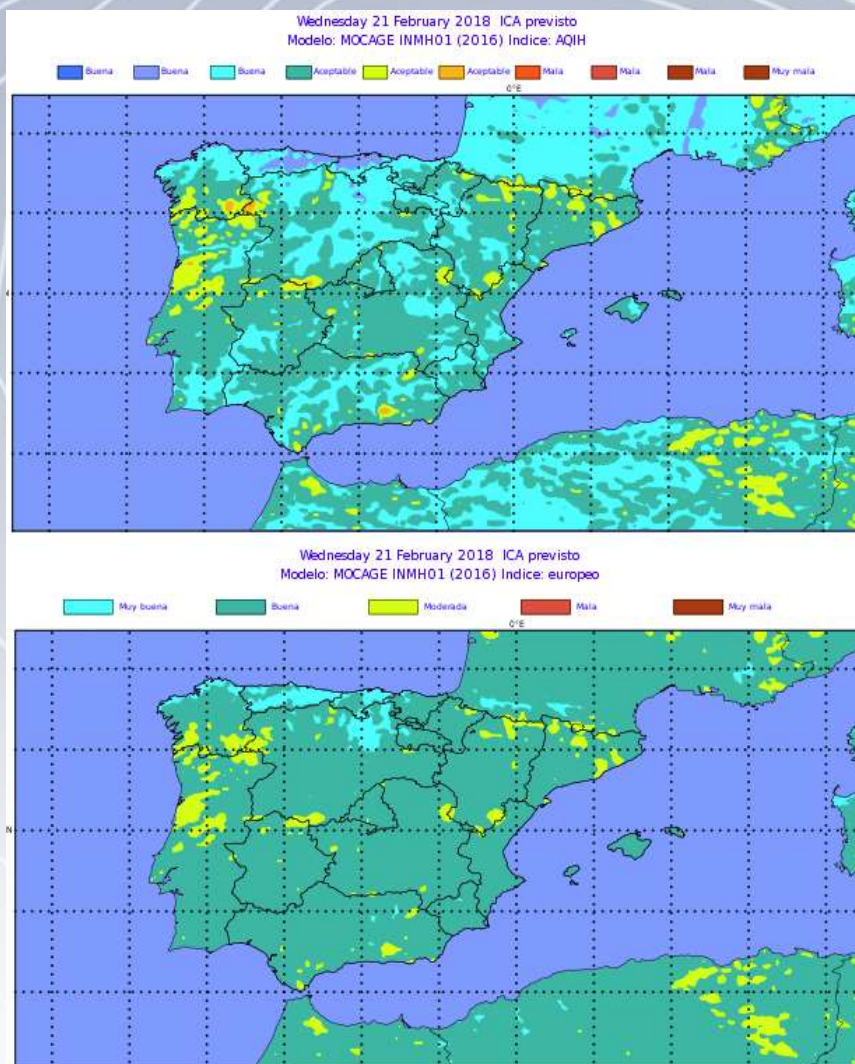


NO₂



Índices diarios previstos de calidad del aire

http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/calidad_del_aire?opc1=indices&opc2=global



- Es un indicador diario de la calidad del aire: uno para cada componente (NO₂, SO₂, O₃, PM₁₀ y PM_{2.5}) y el global (el peor de todos ellos).
- Calculado en base a la información procedente de las directivas vigentes relacionadas con los distintos contaminantes atmosféricos.
- Presentar la información de calidad del aire de una manera más clara, sencilla y comprensible.
- Se obtiene de las salidas directas del modelo de transporte químico MOCAGE operativo en AEMET.

Índices diarios previstos de calidad del aire



http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/calidad_del_aire?opc1=indices&opc2=global

Método de cálculo

Índices parciales para cada contaminante

El valor de los índices parciales en cada celda del dominio peninsular viene determinado por:

- SO₂: máximo diario de los valores de concentración horarios
- NO₂: máximo diario de los valores de concentración horarios
- Ozono: máximo diario de las medias móviles octohorarias
- PM₁₀ y PM_{2.5}: máximo diario de las medias móviles de 24 horas

A los valores calculados se les asocia un valor del índice según la definición del ICA.

- El índice global integra la información de los índices parciales y su valor viene determinado por el máximo de los índices parciales.

Índices diarios previstos de calidad del aire



Nuevo índice diario de calidad del aire

- Se modifican las categorías y umbrales para adaptarse al nuevo índice europeo de calidad del aire.
- Este índice europeo ha sido modificado recientemente y también adoptado en España como ICA nacional*.
- Para establecer los umbrales de las categorías toma en consideración criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud excepto en el caso del SO₂ que sigue adoptando los valores límite establecidos en la Directiva de Calidad del Aire de la UE.

*https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-10426

Programa Copernicus. Iniciativa CAMS

<https://atmosphere.copernicus.eu/>

PROGRAMA COPERNICUS



Copérnicus es el programa de la Unión Europea de observación y monitorización de la Tierra, que analiza el planeta y su medio ambiente en beneficio de los ciudadanos europeos. El programa proporciona datos de manera operacional y servicios de información de forma gratuita sobre numerosas áreas de aplicación, gracias a una gran variedad de tecnologías, que van desde los satélites en el espacio a los sistemas de medición en tierra, mar y aire.

- **El Programa está coordinado y dirigido por la Comisión Europea. Se ha montado con la colaboración de los países miembros, la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización Europea para la Explotación de los Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), el Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF), las Agencias de la Unión Europea y Mercator Océano.**

PROGRAMA COPERNICUS



Los servicios Copernicus transforman los datos de satélite e *in situ* en información de valor añadido gracias al procesamiento y el análisis de los mismos, a su integración con otras fuentes, y a la validación de los resultados. Las series de datos que se remontan años y décadas atrás se pueden consultar y comparar, lo que garantiza el seguimiento y la detección de cambios en las tendencias. Se examinan los patrones y se utilizan para obtener mejores previsiones, por ejemplo, del océano y de la atmósfera. Asimismo, se producen mapas a partir de imágenes de satélite, se identifican los aspectos característicos y los anómalos, y se extrae la información estadística.

Estas actividades de valor añadido se han organizado en torno a seis ejes temáticos de servicios Copernicus:

- Vigilancia atmosférica;
- Vigilancia medioambiental marina;
- Vigilancia terrestre;
- Cambio climático;
- Gestión de emergencias;
- Seguridad.

PROGRAMA COPERNICUS-CAMS



Copernicus Programme Europe's eyes on Earth

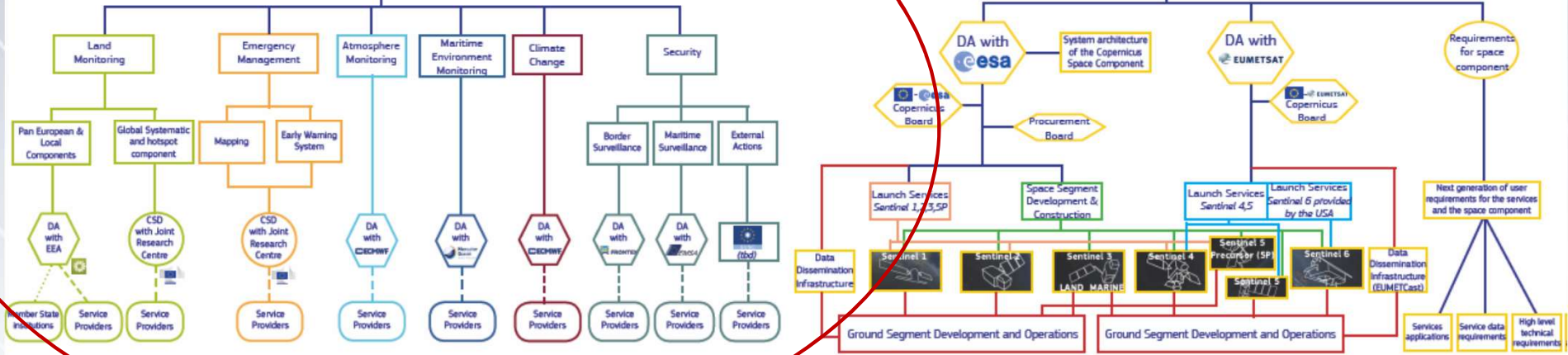
Programme Manager



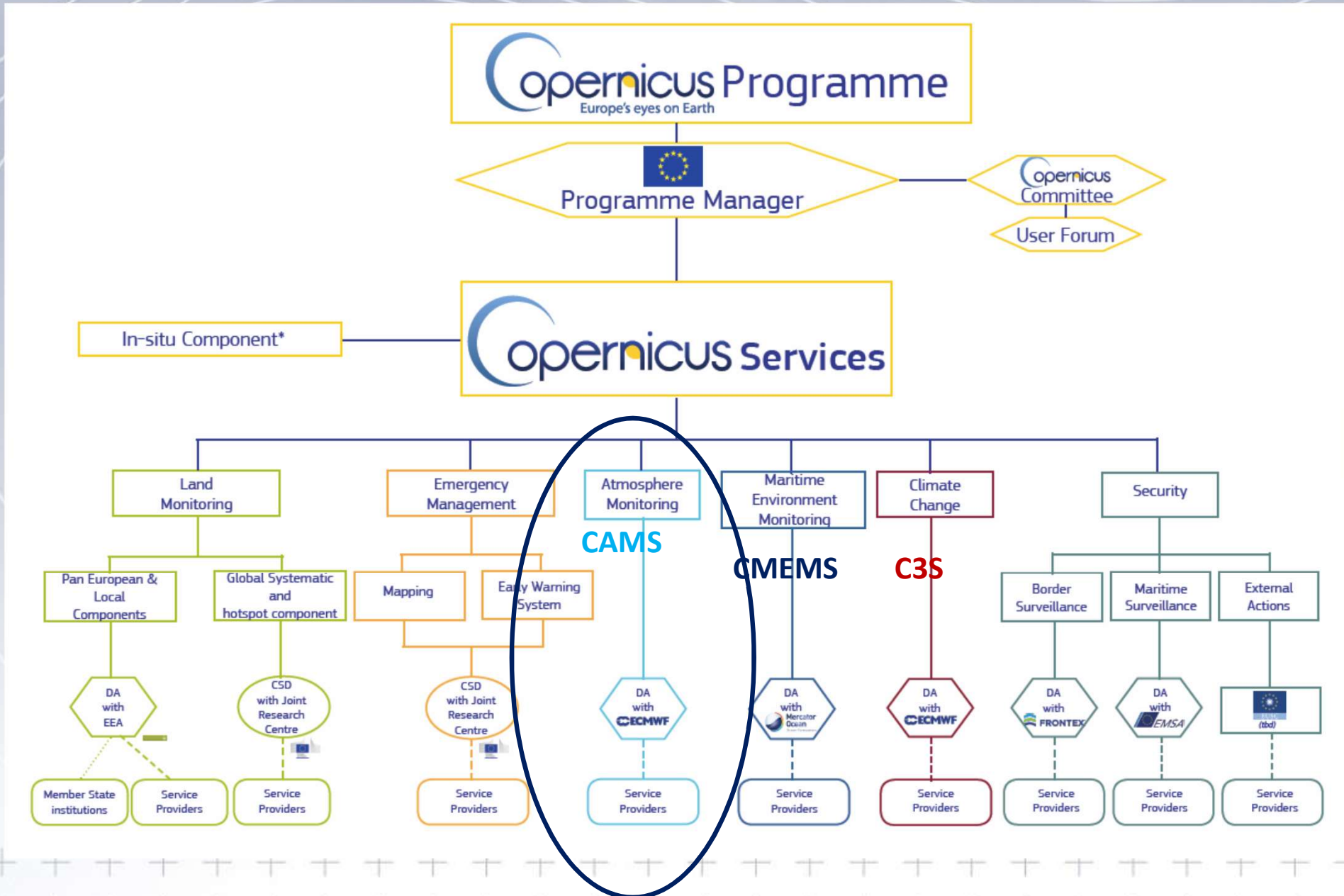
In-situ Component*

Copernicus Services

Copernicus Space Component



PROGRAMA COPERNICUS-CAMS



CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service)



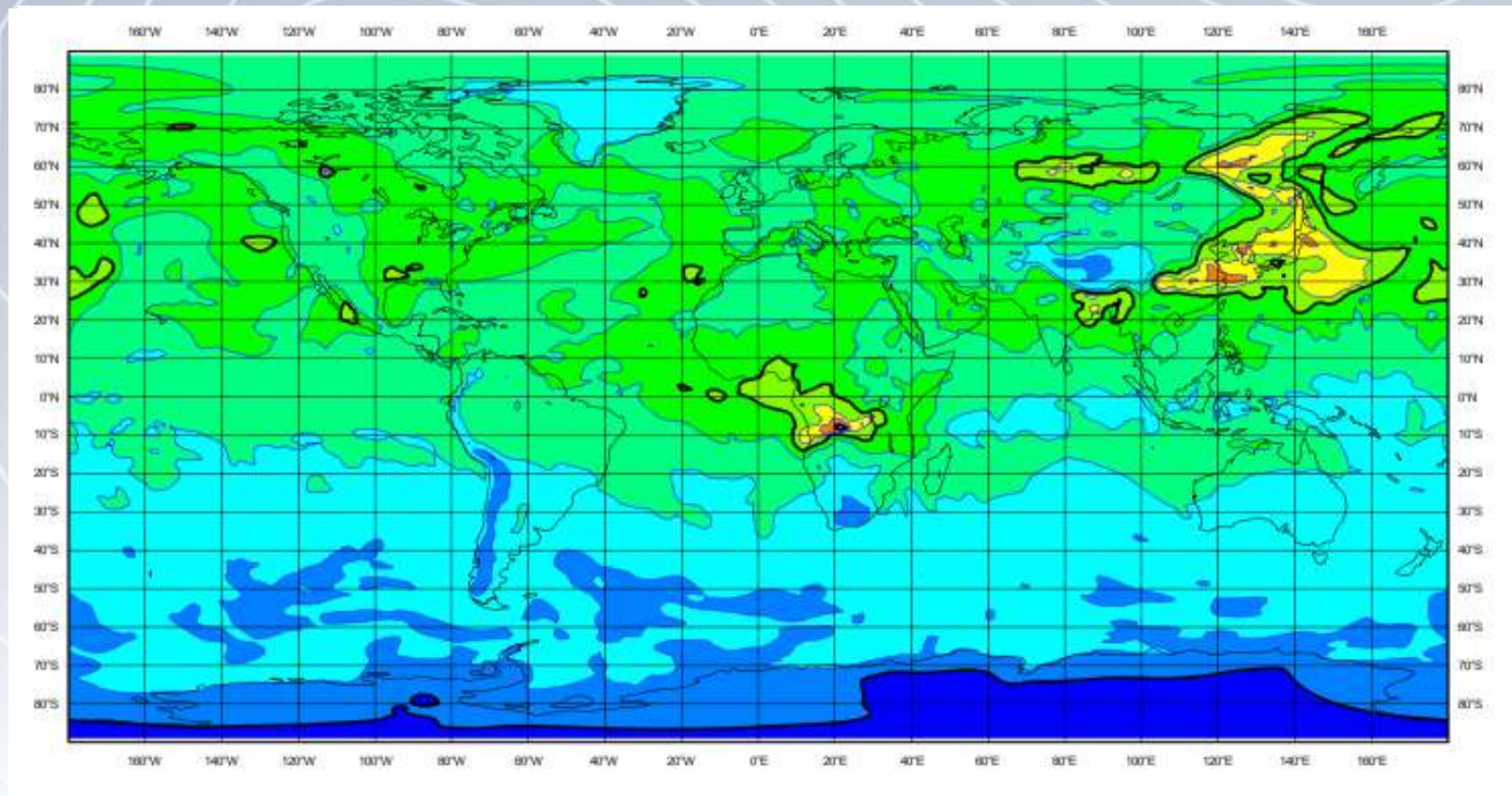
- El Servicio de Monitorización de la Atmósfera Copernico (The Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)) proporciona datos e información de la composición de la atmósfera de forma continua.
-
- El Servicio describe la situación actual de la atmósfera y la predicción para unos pocos días y analiza consistentemente los datos registrados durante los últimos años.
-
- El Servicio de Monitorización de la Atmósfera Copernico soporta varias aplicaciones en una gran variedad de dominios incluyendo salud, monitorización ambiental, energías renovables, meteorología y climatología.
-
- El Servicio se focaliza en **cinco áreas principales:**
 1. Composición de la atmósfera y calidad del aire,
 2. Capa de ozono y radiación ultravioleta,
 3. Flujos superficiales y emisiones,
 4. Radiación solar y
 5. Forzamiento climático.

CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service)



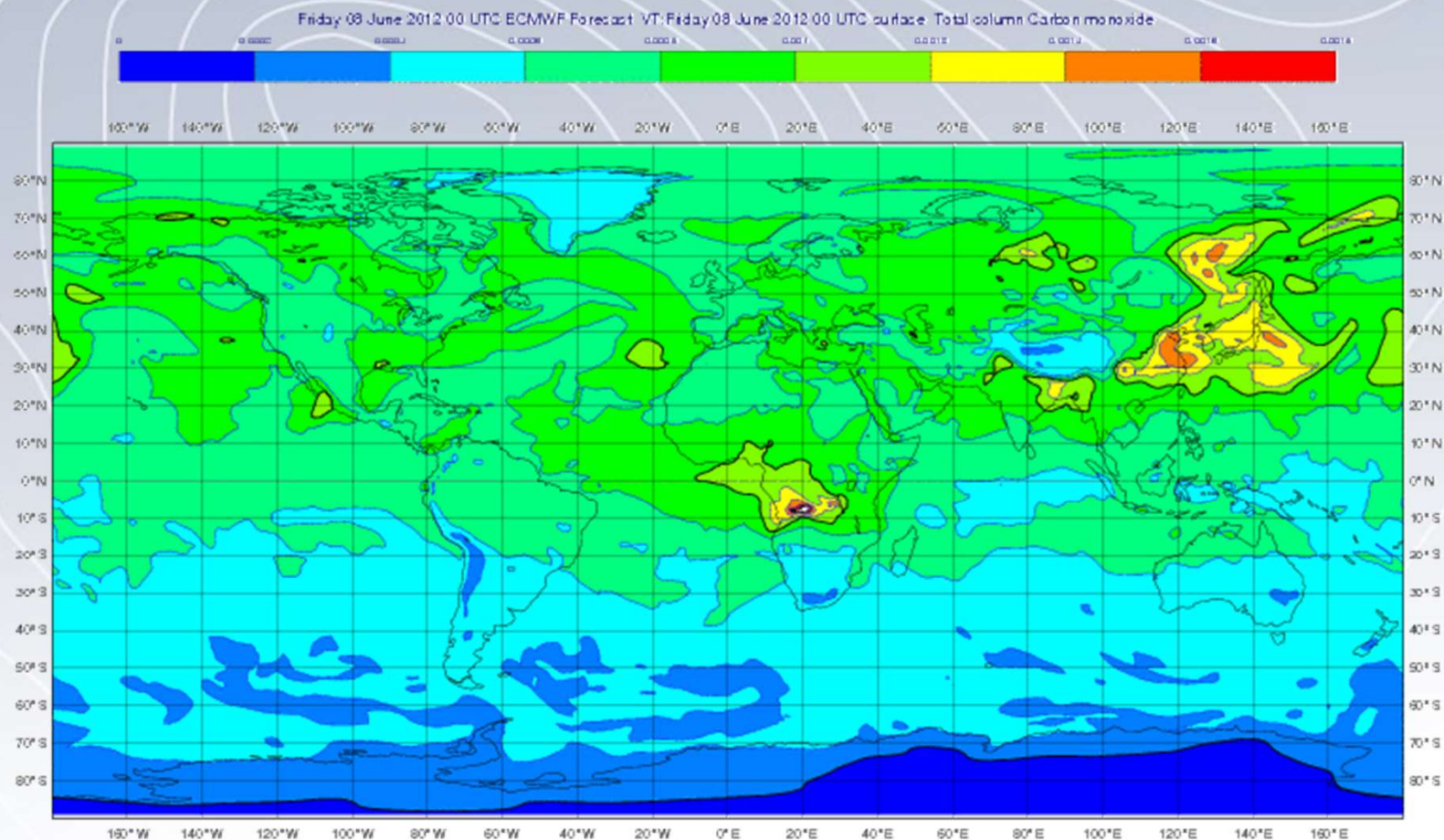
- Proporciona información diaria de la **composición atmosférica global** mediante monitorización y predicción de sus constituyentes tales como los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono y metano), gases reactivos (por ejemplo, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, etc.), ozono y aerosoles.
- Proporciona análisis en tiempo presente y predicciones hasta 4 días, así como reanálisis, de la **calidad del aire en Europa**. Esto permite una permanente evaluación del aire que respiramos.
- Proporciona información precisa y fiables de los **recursos de radiación solar** en la superficie de la Tierra a numerosas instituciones públicas y privadas involucradas en el uso de la energía solar, que es de gran importancia para áreas como la salud, la agricultura y las energías renovables.

Combinando observaciones y predicciones anteriores...



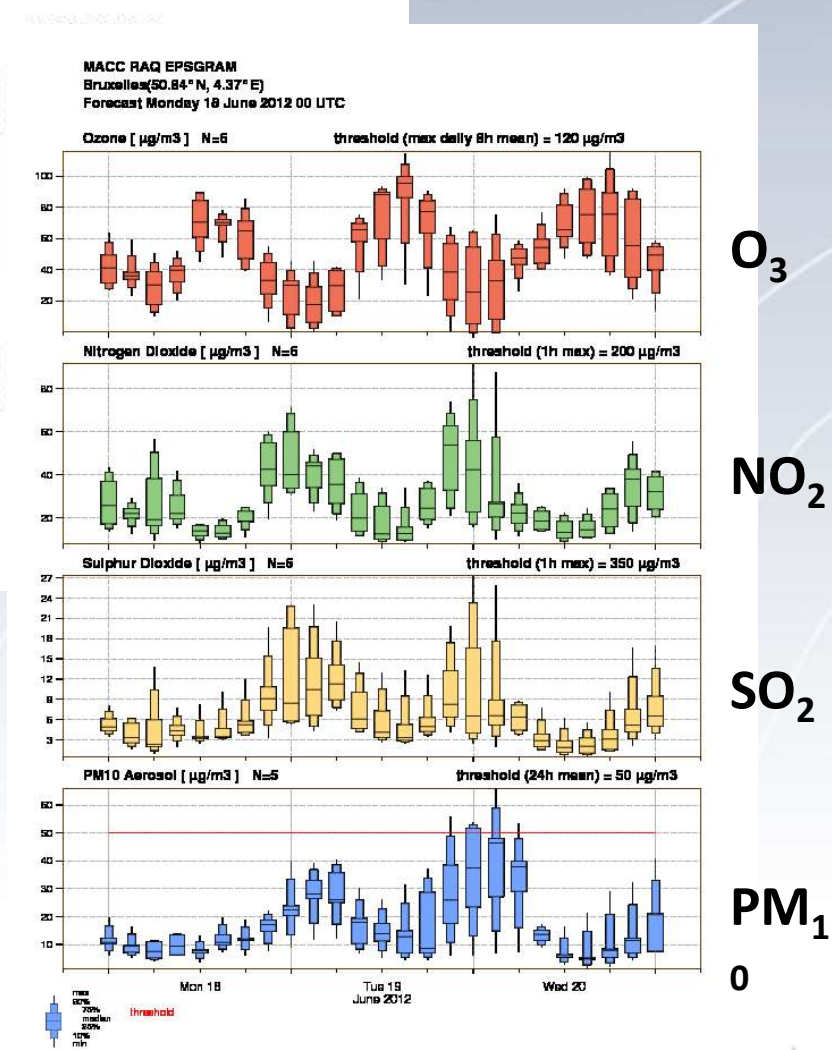
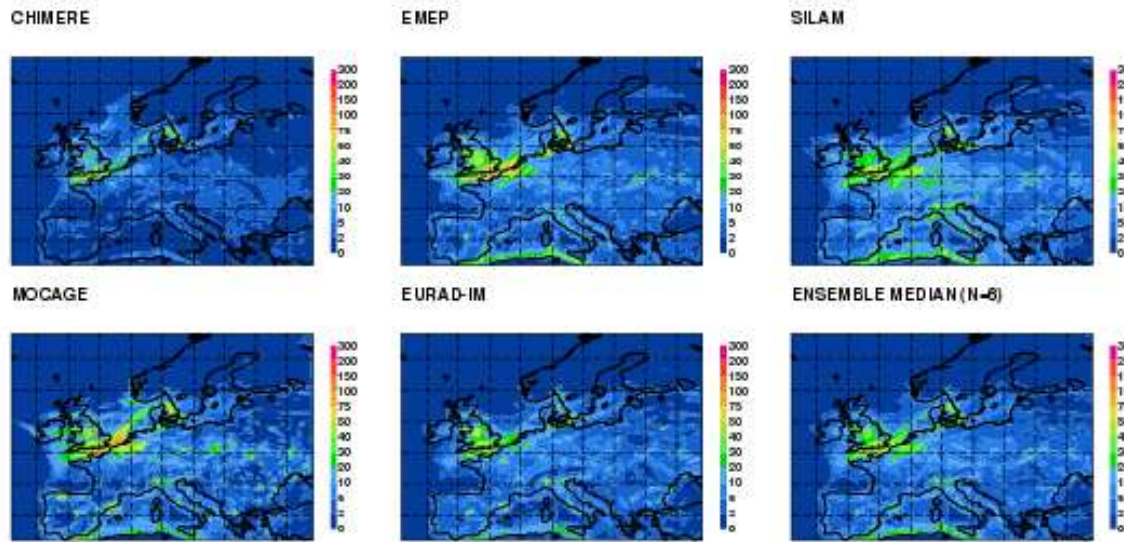
... obtenemos una predicción global...

CAMS proporciona predicciones sobre todo el globo hasta 5-días con una resolución horizontal de 40 km y salidas cada 3 horas.



... obtenemos un conjunto de predicciones regionales

Monday 18 June 2012 00UTC MACC-RAQ Forecast D+2 VT: Wednesday 20 June 2012
Surface Nitrogen Dioxide Daily Maximum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



El modelo global proporciona condiciones de contorno a los modelos regionales europeos para sus predicciones de calidad del aire.

La predicción por conjuntos proporciona una estimación de primer orden del error de la predicción.



CAMS Conjunto de modelos europeos regionales de calidad del aire

CHIMERE
INERIS, CNRS



Geometría actual

25km, L8, top : 500hpa

Método de asimilación

Optimal Interpolation

EMEP
met.no



0.2° , L20, top : 100hpa

3d-var in development

EURAD
FRIUUK



15km, L23, top : 100hpa

Variational, 3d-var

L-EUROS
TNO, KNMI



15km, L4, top : 3.5km

Ensemble Kalman Filter

MATCH
SMHI



0.2° , L40, top : 100hpa

Variational, 3d-var

MOCAGE
MF, CERFACS



0.2° , L47, top : 5hpa

Variational, 3d-var

SILAM
FMI



0.2° , L46/5, top : 100hpa

Variational, 4d-var

4 nuevos modelos:

DEHM

AARHUS
UNIVERSITY



GEM-AQ

IEP-NRI



MINNI

ENEA



MONARCH

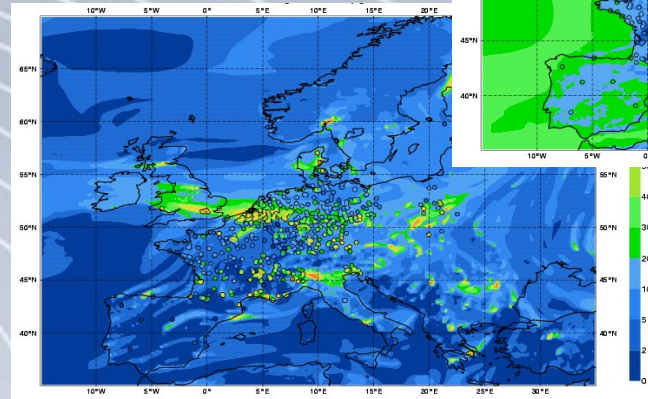
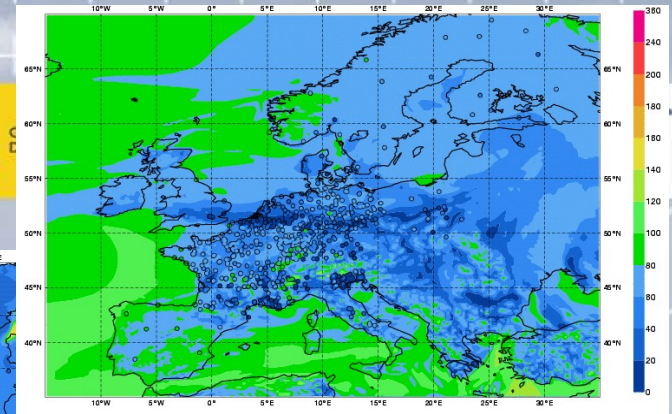
BSC



+ las mismas emisiones, las mismas predicciones meteorológicas (IFS), las mismas condiciones de contorno químicas (CAMs global) : las diferencias (« spread ») proceden de la formulación de los modelos de transporte químico

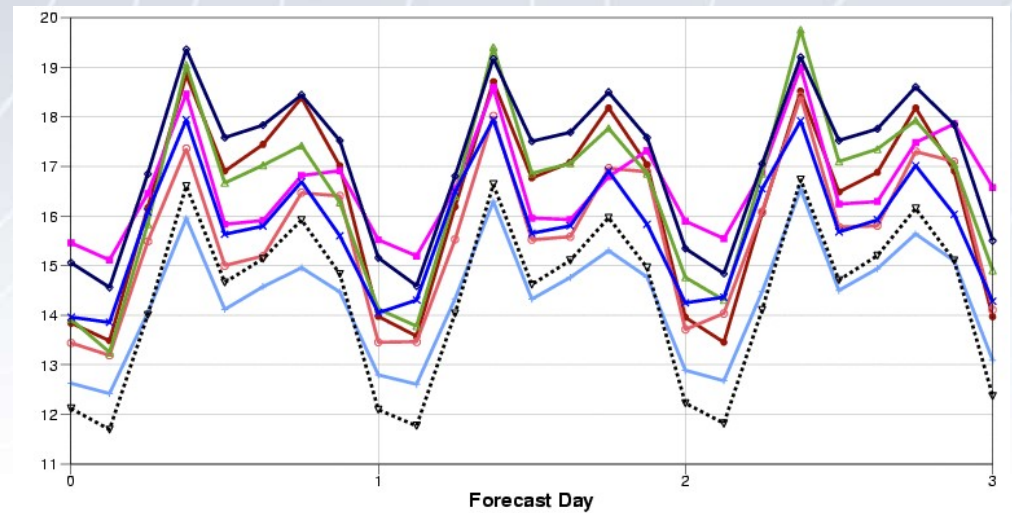
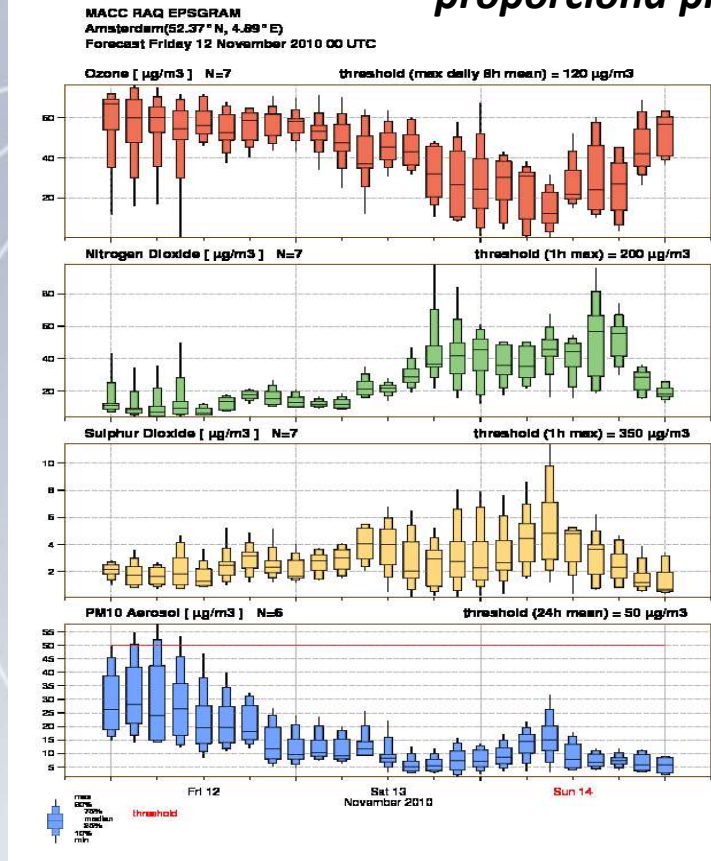
¿Por qué una predicción por conjuntos?

La predicción por conjuntos proporciona productos útiles...



Todos los modelos individuales tienen días buenos...

... pero la media o la mediana del conjunto proporciona la solución con mejores puntuaciones en la verificación



GMES RAQ EPSGRAM
Paris (48.86° N, 2.35° E)
Forecast Tuesday 30 June 2009 00 UTC

...especialmente cuando la situación es compleja

