

HERRAMIENTAS DE PREDICCIÓN DE LA DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Ponente: Ángel J. Gómez Peláez
Delegado Territorial de la AEMET en Asturias

Fecha: 28 de septiembre de 2018

Clase del Curso “HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE DATOS DE LA RED DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE” organizado por el **Instituto Asturiano de Administración Pública Adolfo Posada** del Principado de Asturias

Esquema de esta clase:

- **Ecuación de continuidad:** advección y difusión de los contaminantes.
- **Condiciones meteorológicas** favorables para la dispersión de los contaminantes.
- **Retro-trayectorias versus penacho inverso en el tiempo.**
- **Tipos de modelos de dispersión de contaminantes**
- **El modelo MOCAGE de la AEMET.**
- **El modelo CALIOPE del BSC.**
- **Copernicus**

Ecuación de continuidad: advección y difusión de los contaminantes

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot (c \vec{v}) = D \nabla^2 c + S(\vec{x}, t)$$

c: concentración (masa por unidad de volumen)
v: vector viento
D: difusividad turbulenta
S: fuentes (+) y sumideros (-)

La emisión de contaminantes suele ocurrir junto al suelo y ser desde puntos fijos (salvo para vehículos, barcos, aviones... en movimiento).

Cuanto mayor sea el **volumen de aire en el que se diluya dicha contaminación**, menor será la concentración de dicho contaminante en las proximidades del foco de emisión (ciudades, polígonos industriales...).

La dilución del contaminante será mayor cuanto más intenso sea el viento (advección) y mayor sea la mezcla en la vertical y en el plano horizontal por turbulencia.

Condiciones meteorológicas favorables para la dispersión de contaminantes.

La condiciones meteorológicas son las que determinan la dispersión/dilución de los contaminantes.

El viento arrastra al contaminante. Cuanto más intenso sea dicho viento mayor será la distancia horizontal en la que se diluye una misma tasa de emisión por unidad de tiempo de contaminante.

La presencia de estabilidad vertical en la atmósfera dificulta/impide la mezcla/dilución en la vertical. Caso más acentuado: presencia de inversiones térmicas intensas en las proximidades del suelo.

La lluvia “atrapa” y arrastra el material particulado y lo deposita en el suelo.

Retro-trayectorias versus penacho inverso en el tiempo

¿De donde viene la contaminación monitorizada en una estación de medida?

¿Del lugar que nos indique la retro-trayectoria?

Retro-trayectoria: trayectoria hacia atrás en el tiempo que sigue la parcela de aire al ser arrastrada por el viento.

Respuesta no completa, ya que **la retro-trayectoria solo tiene en cuenta la advección, pero no la difusión turbulenta del contaminante.**

Respuesta completa: además hay que tener en cuenta la difusión turbulenta, en lugar de una retro-trayectoria tenemos un **penacho inverso en el tiempo.**

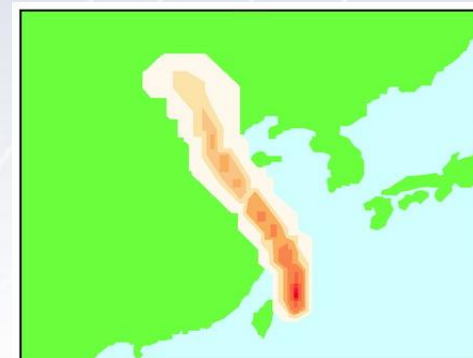


Figura de Shirai et al. (2017) Tellus B
[10.1080/16000889.2017.1291158](https://doi.org/10.1080/16000889.2017.1291158)

Tipos de modelos de dispersión de contaminantes

➤ Euleriano versus Lagrangiano

Modelo Euleriano: resuelve numéricamente la EDP (Ecuación en Derivadas Parciales) de Continuidad para todos los puntos del dominio 3D considerado.

Modelo Lagrangiano: de cada punto de emisión sale un conjunto de partículas para cada una de las cuales se calcula su trayectoria teniendo en cuenta el campo de viento y una velocidad turbulenta estocástica.

➤ Modelos On-line versus Off-line

Off-line: el campo de viento usado procede de modelos meteorológicos y la componente química que se calcula no influye en dicho viento.

On-line: el modelo químico está acoplado al meteorológico e influye en él. Por ejemplo: efectos en el balance radiativo del polvo mineral, efectos en la temperatura del ozono estratosférico...

Modelos Lagrangianos más conocidos

- **FLEXPART** asociado al modelo de cálculo de trayectorias (y retros) **FLEXTRA**. Solo versión PC.

FLEXTRA: <https://folk.nilu.no/~andreas/flextra.html>
<https://www.flexpart.eu/wiki/FtAbout>

FLEXPART: <https://www.flexpart.eu/>

- **HYSPLIT** asociado al modelo de cálculo de trayectorias (y retros) **HYSPLIT** (mismo nombre). Versión PC y versión on-line web.

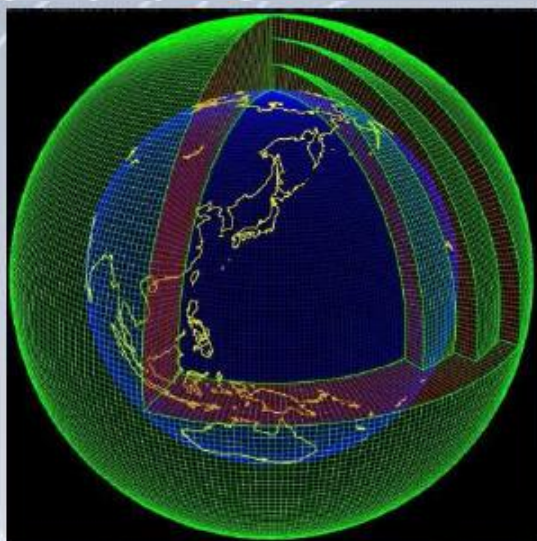
Trayectorias: https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

Modelo Lagrangiano: https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_disp.php

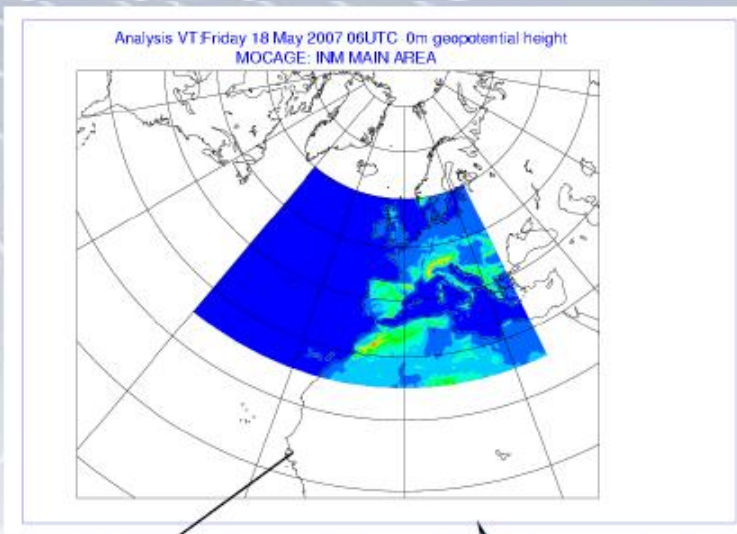
El modelo MOCAGE de la AEMET.

- **MOCAGE** es un **modelo de transporte químico (CTM)** desarrollado por **Meteo-France**
- **Es Euleriano y Off-line**
- **47 niveles híbridos en la vertical**
- **Es global y permite 3 niveles de anidamiento**
- **119 especies químicas y 372 reacciones químicas**
- **Incluye deposición seca y húmeda, y decaimiento radiactivo**
- **Inventarios de emisiones: IPCC + EMEP + TNO-MACC III**
- **Forzamiento meteorológico: ECMWF e HIRLAM**
- **Alcance de la predicción: 24 horas**
- **Resolución espacial: unos 10 km**
- **Concentraciones en microgramos por metro cúbico**

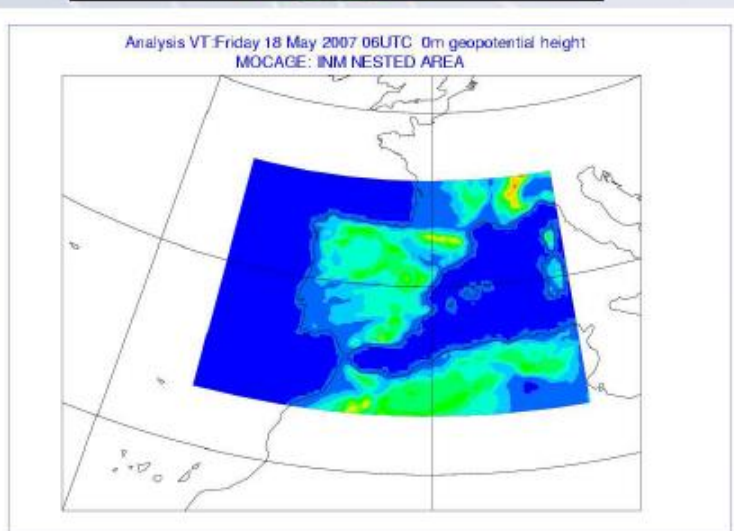
Esquema de anidamiento de MOCAGE en AEMET.



Global
ECMWF
2x2



Atlántico
Europeo
ONR 0.5x0.5



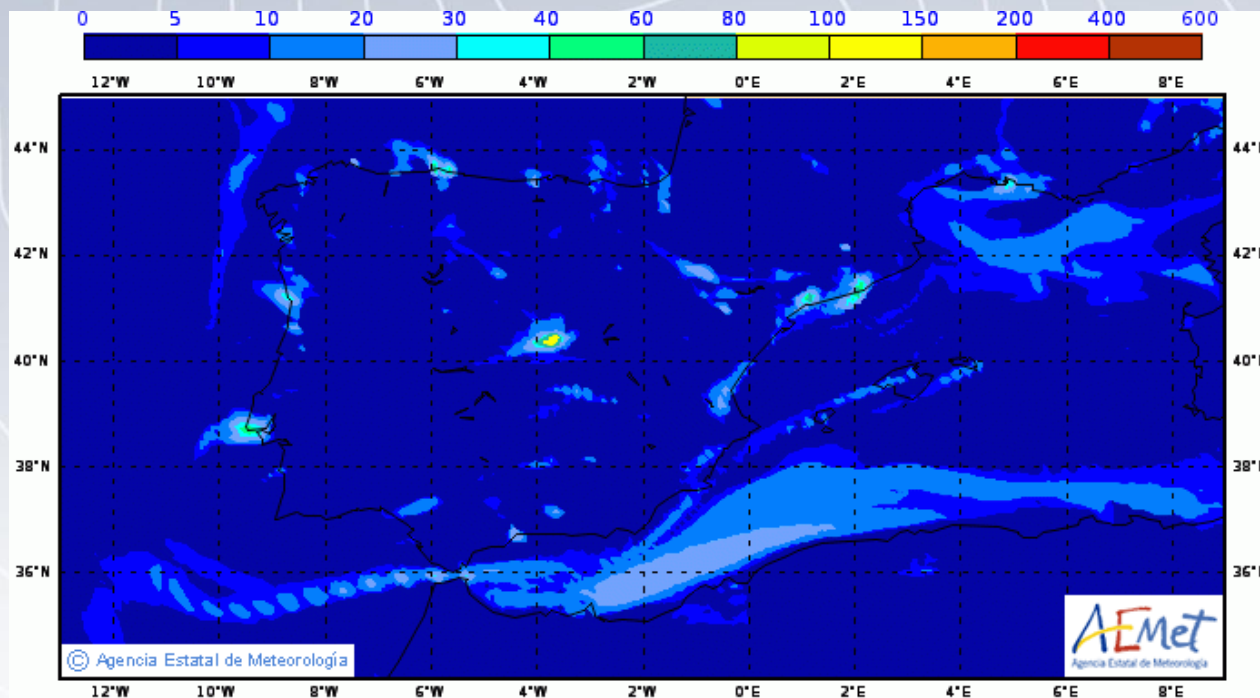
Península
HNR 0.1x0.1

www.aemet.es

Figura de Martínez-Marco et al. (AEMET), 2018, VI Simposium Nacional de Predicción (Memorial Antonio Mestre).

El modelo MOCAGE de la AEMET.

- Las predicciones horarias de calidad del aire del modelo MOCAGE de AEMET están disponibles en la web (hasta H+24h): http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/calidad_del_aire
- Especies químicas mostradas: NO₂, NO, SO₂, CO, O₃, O₃ total en columna, PM₁₀ y PM_{2.5}



Predicción de NO₂ disponible
a las 20:00 del
26 de septiembre de 2018
para el 27 de septiembre de 2018
a las 12:00.

El modelo MOCAGE de la AEMET.

- **La resolución del modelo MOCAGE de AEMET es de unos 10 km, por lo que no consigue resolver el interior de las ciudades y las zonas industriales**
- **Los mapas son representativos de fenómenos a gran escala y pierden precisión conforme descienden a nivel local.**
- **No son por tanto válidos para determinar una posible superación de los valores legislados pero sí contribuyen a conocer mejor la predicción en términos cualitativos.**
- **Por ello deben ser interpretados como tendencias y no como valores absolutos.**

Escapa del objetivo de esta charla hablar de las predicciones de polvo mineral atmosférico del Barcelona Dust Forecast Center: <https://dust.aemet.es/>

Índice diario de calidad del aire previsto por AEMET.

	Índice AEMET medias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ móvil 8h	NO ₂ 1h	SO ₂ 1h	PM10 móvil 24h	PM2.5 móvil 24h
Muy Buena	1	0-80	0-40	0-100	0-20	0-10
Buena	2	80-120	40-100	100-200	20-35	10-20
Moderada	3	120-180	100-200	200-350	35-50	20-25
Mala	4	180-240	200-400	350-500	50-100	25-50
Muy Mala	5	>240	>400	>500	>100	>50

Se convierten los valores numéricos del modelo MOCAGE en **valores adimensionales resumen sobre el estado de la calidad del aire**, facilitando al ciudadano su comprensión.

La metodología está **basada en el índice europeo de calidad del aire**, desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente en base a las directivas europeas vigentes sobre calidad del aire, **aunque se ha adaptado para proporcionar valores diarios, en lugar de valores horarios**.

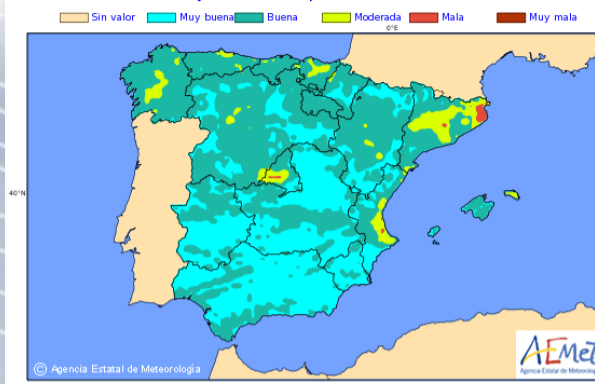
http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/composicion_quimica_atmosfera/indice_previsto

Mapas del índice diario de calidad del aire previsto por AEMET.

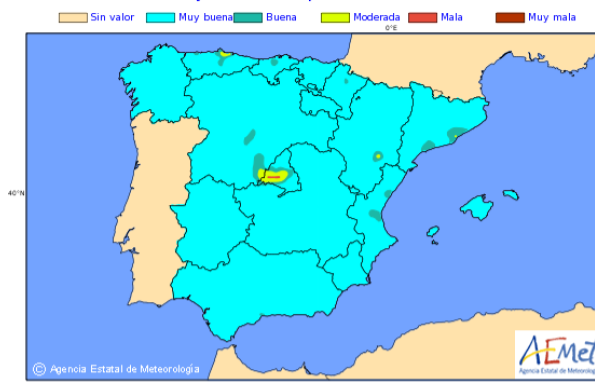
http://www.aemet.es/documentos_d/eltiempo/prediccion/composicion_quimica_atmosfera/ICA.pdf

El índice diario global previsto, que integra la información de todos los contaminantes, proporciona el valor máximo de los índices parciales en cada punto de rejilla.

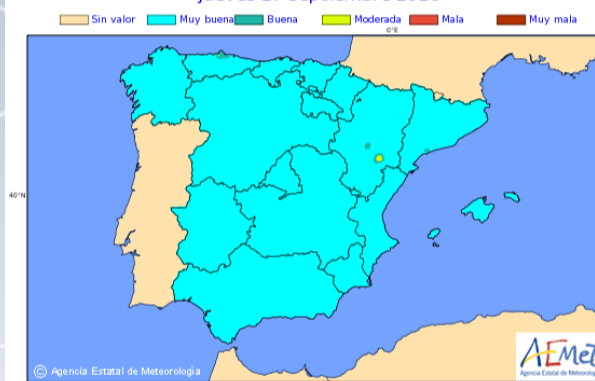
Índice diario previsto Global
jueves 27 septiembre 2018



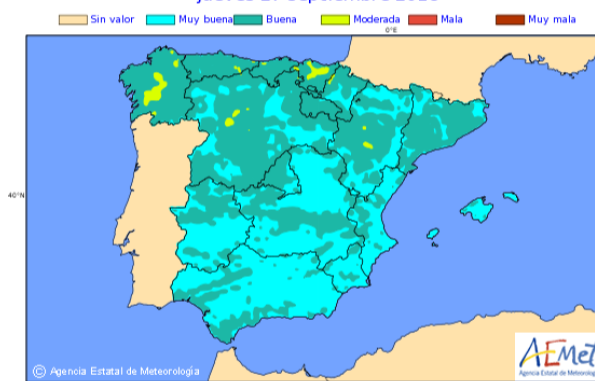
Índice diario previsto para NO₂
jueves 27 septiembre 2018



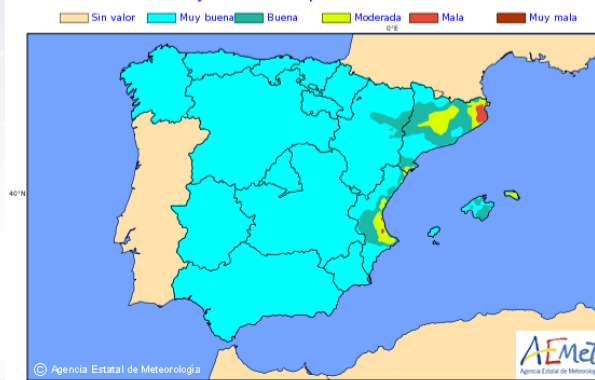
Índice diario previsto para SO₂
jueves 27 septiembre 2018



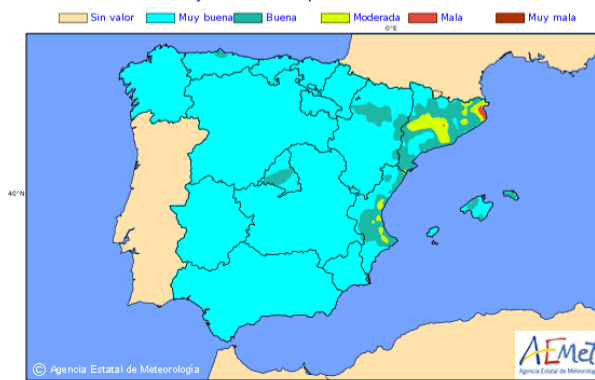
Índice diario previsto para Ozono
jueves 27 septiembre 2018



Índice diario previsto para PM₁₀
jueves 27 septiembre 2018



Índice diario previsto para PM_{2.5}
jueves 27 septiembre 2018



El modelo CALIOPE del BSC

- Sistema de pronóstico de la CALIdad del aire Operacional Para España (CALIOPE) del Barcelona Supercomputing. Financiado por el MAGRAMA
- Modelo de transporte fotoquímico CMAQ v5.0.2 y modelo de transporte de polvo mineral BSC-DREAM8bv2
- **Es Euleriano y Off-line**
- Modelo de inventario de emisiones: HERMESv2
- Forzamiento meteorológico: WRF-ARW v3.5.1
- **Alcance de la predicción: 24 y 48 horas**
- **Resolución espacial: 4 km (anidamientos de alta resolución en: Madrid 1 km, Cataluña 1 km, Canarias 2 km y Andalucía 1 km)**
- **Pronóstico de calidad del aire: O3, NO2, CO, SO2, PM10, PM2.5 y Benceno.**



El modelo CALIOPE del BSC

Principales productos: <http://www.bsc.es/caliope/es>

- **Pronóstico de la calidad del aire (concentraciones en microgramos por metro cúbico salvo para CO en mg/m³)**
- **Pronósticos de emisiones y meteorológico**
- **Índices de calidad del aire: mapa y por estaciones de medida de calidad del aire (CCAA, Ayuntamientos, AEMET, EIONET)**
- **Evaluación del pronóstico en tiempo casi real**
- **Tablas de valores máximos de la calidad del aire, previstos para 24 y 48h**
- **Fichas resumen de la evolución anual del pronóstico (estadísticos y gráficos)**
- **Imágenes de satélite (NO₂ y meteorológicas)**

Copernicus

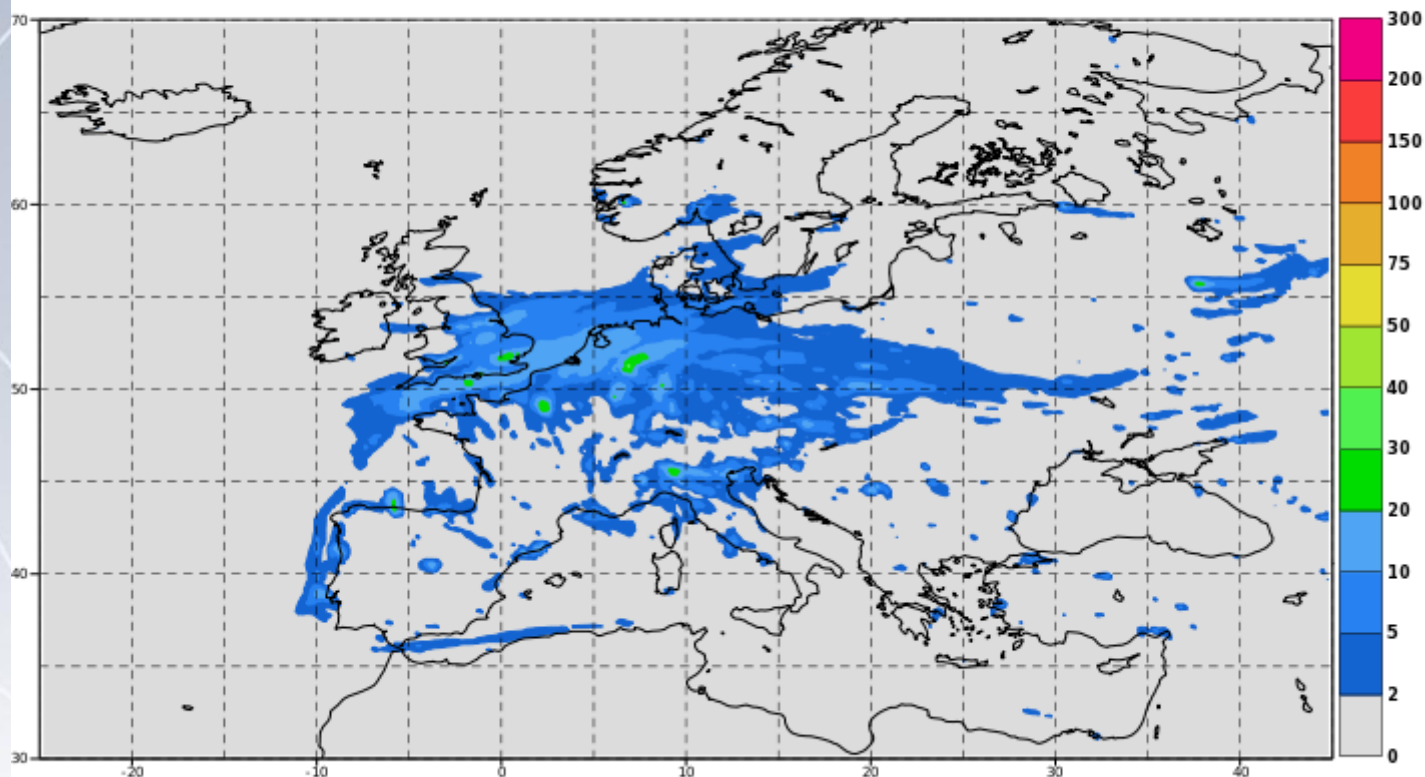
- **La producción para Europa de pronósticos de calidad del aire de CAMS** (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) **se basa en 7 modelos de calidad del aire europeos**: CHIMERE de INERIS (Francia), EMEP de MET Norway (Noruega), EURAD-IM de la Universidad de Colonia (Alemania), LOTOS-EUROS de KNMI y TNO (Holanda), MATCH de SMHI (Suecia), MOCAGE de METEO-FRANCE (Francia) y SILAM de FMI (Finlandia).
- **Los modelos son Eulerianos y Off-line**
- **Inventario de emisiones: CAMS. Condiciones de contorno químicas: CAMS IFS-MOZART global**
- **Forzamiento meteorológico: ECMWF**
- **Alcance de la predicción horaria: 4 días**
- **Resolución espacial: entre 10 y 20 km**
- **Pronóstico de calidad del aire: O3, NO2, NO, CO, SO2, PM10, PM2.5, NH3, NMVOC, PANs, y polen de 4 tipos.**



Principales productos: <http://macc-raq-op.meteo.fr/>

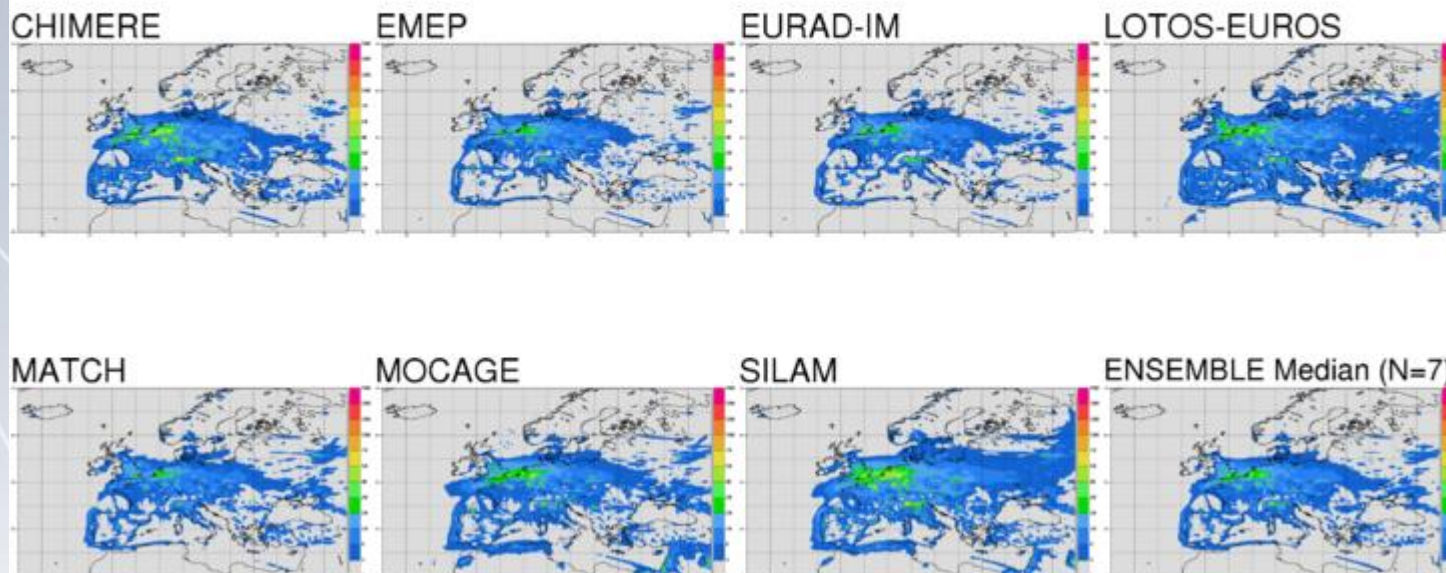
- **Pronóstico y análisis de la calidad del aire por conjuntos** (usando para cada punto la mediana de los 7 modelos, que normalmente proporciona la mejor estimación)
- **EPSgramas** de O3, NO2, SO2 y PM10 para las 41 mayores ciudades europeas
- **Pronóstico y análisis de la calidad del aire de cada modelo**
- **Observaciones en tiempo cuasi-real**
- **Verificación de los pronósticos y los análisis**
- **Reanálisis de los campos de calidad de aire de años previos mediante el conjunto de modelos, para la medias anuales y estacionales.**

Wednesday 26 September 2018 00UTC CAMS Forecast t+036 VT: Thursday 27 September 2018 12UTC
Model: ENSEMBLE Height level: Surface Parameter: Nitrogen Dioxide [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



Generado mediante “Copernicus Atmosphere Monitoring Service” [2018]

Wednesday 26 September 2018 00UTC CAMS FORECAST D+1
Surface Nitrogen Dioxide Daily Mean [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



Generado mediante “Copernicus Atmosphere Monitoring Service” [2018]

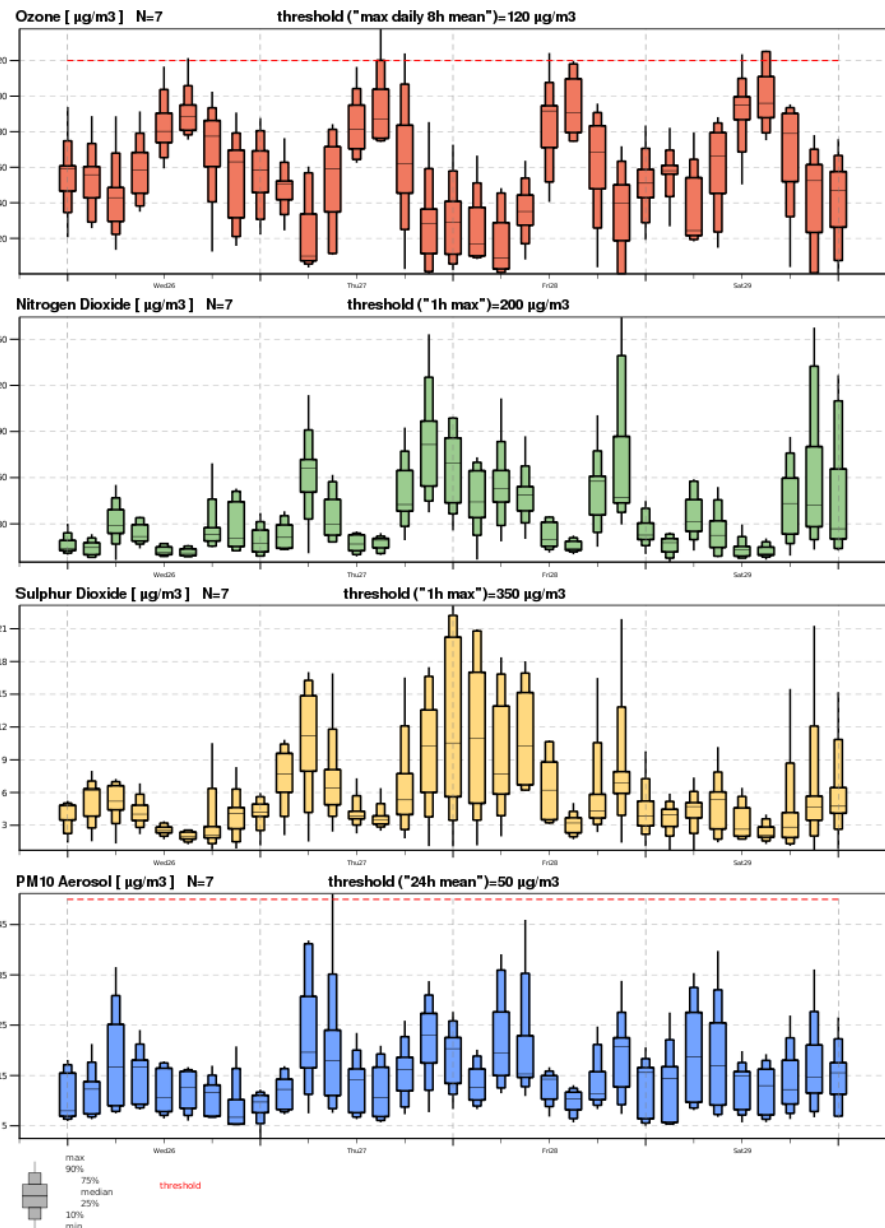
Copernicus

Generado mediante “Copernicus
Atmosphere Monitoring Service” [2018]

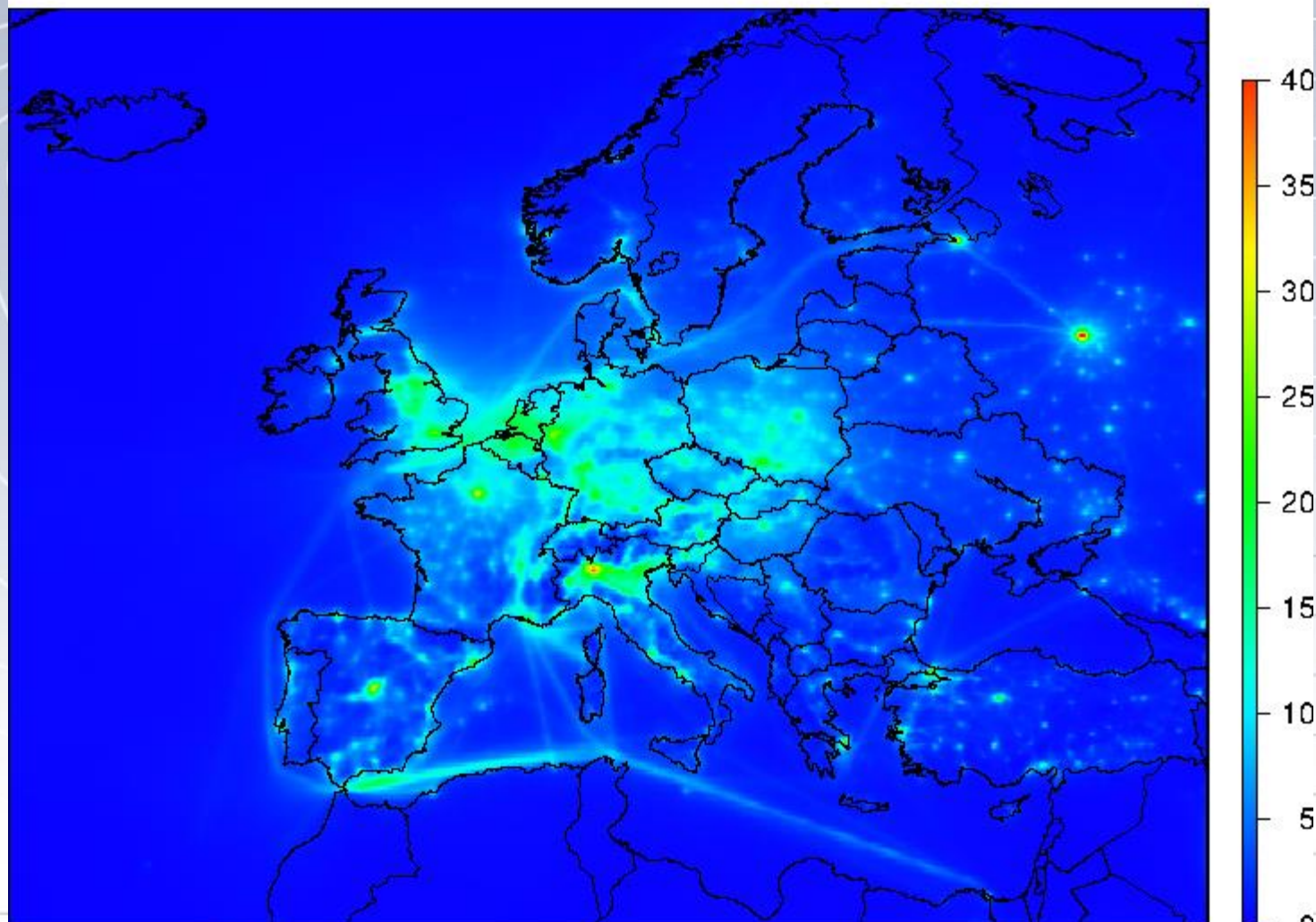
CAMS EPSGRAM

Madrid(40.42° N, 3.7° W)

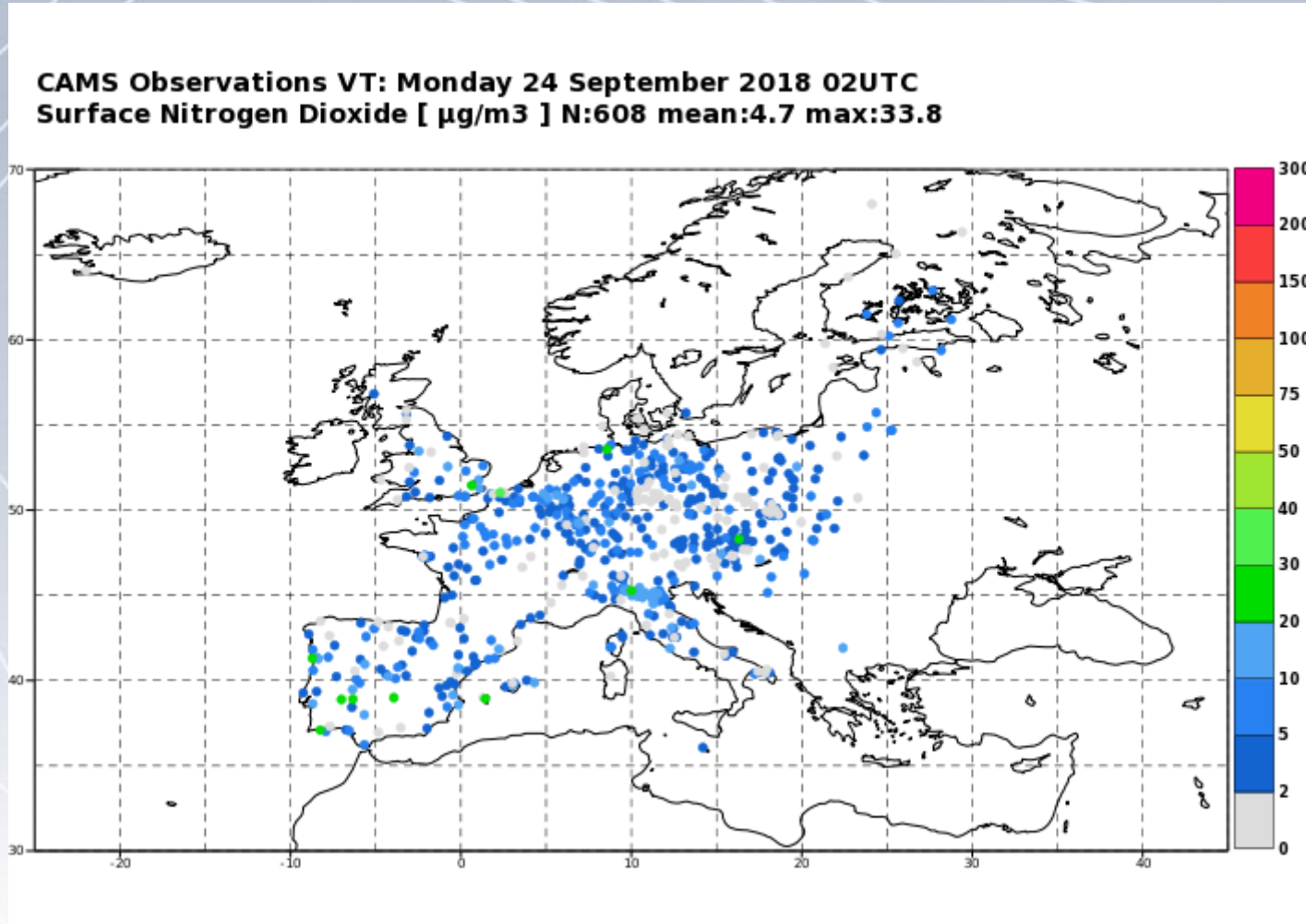
Forecast Wednesday 26 September 2018 00 UTC



NO₂ 2017 reanalysis avg annual indicator in $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Generado mediante
“Copernicus Atmosphere
Monitoring Service” [2018]



Generado mediante “Copernicus Atmosphere Monitoring Service” [2018]

Gracias por su atención

**Twitter de la Delegación Territorial de la AEMET
en el Principado de Asturias: @AEMET_Asturias**