

ESTUDIO DEL ÁREA MEDITERRÁNEA OCCIDENTAL EN ALTA RESOLUCIÓN PARA EL PROYECTO MACC

Esther López Sánchez ⁽¹⁾, Alberto Cansado Auría ⁽¹⁾, Juan Ramón Moreta González ⁽¹⁾,
Inés Santos Atienza ⁽¹⁾, Isabel Martínez Marco ⁽¹⁾,
María Allue Camacho ⁽¹⁾, Jon Arrizabalaga Ibarzabal ⁽¹⁾
(1) AEMET, Servicio de Modelización de la Calidad del Aire,
C/Leonardo Prieto Castro 8, 28040 Madrid,
e-mail: elopezs@aemet.es

El proyecto MACC y su continuación, el proyecto MACC-II, cuyas siglas son el acrónimo de Monitoring Atmospheric Composition and Climate, son servicios atmosféricos preoperacionales del servicio de vigilancia atmosférica del programa europeo GMES (Global Monitoring for Environment and Security). En ellos participan diferentes instituciones europeas de investigación, entre ellos, numerosos servicios meteorológicos nacionales.

MACC nació a partir del proyecto PROMOTE (PROtocol MonIToring for the GMES Service) de la Agencia Espacial Europea y el proyecto europeo FP6 GEMS.

El proyecto MACC se desarrolló entre junio del 2009 y diciembre del 2011. MACC-II comenzó en enero del 2012 y durará hasta el año 2014.

Tanto MACC como MACC-II están financiados por el 7º Programa Marco de Investigación Científica de la Unión Europea (FP7).

El objetivo de MACC fue el suministro del registro de datos de composición atmosférica, la generación de datos para el seguimiento de las condiciones presentes y la predicción de la distribución de componentes clave con varios días de antelación.

En MACC-II se combina la modelización atmosférica más puntera con los datos de la observación tanto terrestre como satelital, para proporcionar servicios de información de la calidad del aire a nivel europeo, composición global atmosférica, el clima, la energía solar y la radiación UV.

La contribución de AEMet en Madrid tanto para MACC como para MACC-II es la predicción de la contaminación atmosférica en la cuenca mediterránea occidental en alta resolución, con el fin de estudiar lo que la modelización de alta resolución puede añadir a la predicción de la composición química de la atmósfera en esta zona del sur de Europa, que debido a sus especiales características

en cuanto a la fotoquímica, a la presencia de grandes ciudades situadas en la costa, a la existencia de fuertes emisiones antropogénicas y biogénicas, combinado con una compleja dinámica y transporte de contaminantes a larga distancia, la convierten en una zona especialmente interesante y en un reto para la comunidad modelizadora.

El modelo de transporte químico utilizado en AEMET para este fin es MOCAGE (B. Josse et al, 2004), que es un modelo tridimensional global, con capacidad para trabajar con dominios anidados adicionales, desarrollado por Météo-France y que ha sido modificado en AEMET para trabajar como modelo de área limitada.

El esquema químico utilizado es RACMOBUS (119 especies y 372 reacciones químicas). No incluye material particulado, sino sólo especies gaseosas.

Para este trabajo se definió un nuevo dominio, MACCH3, que abarca el Este de la Península Ibérica y el Mediterráneo occidental (longitud 5° W - 5° E y latitud 36° N - 44° N) con una resolución de 0.05°, formando un dominio de 200 puntos de rejilla en longitud y 160 en latitud.

Los forzamientos meteorológicos de alta resolución, tanto en superficie como en altura, provienen del modelo HIRLAM de AEMET de 0.05°. Las emisiones utilizadas sobre tierra son las generadas por la empresa holandesa TNO para el proyecto GEMS con una resolución nativa de 0,125° x 0,0625°. Sobre mar se han utilizado las emisiones EMEP de 50 km de resolución.

MOCAGE fue modificado en AEMET para que trabajara como un modelo de área limitada, que fuese capaz de aceptar condiciones de contorno de otros modelos químicos.

En nuestro caso, las condiciones de contorno químicas para MOCAGE se toman de la media del ensemble de calidad del aire regional de MACC (MACC R-ENS) a 0.1°, interpolándose en AEMET a

0.05° para las especies químicas NO₂, O₃, CO y SO₂, para los niveles de superficie, 500 m, 1000 m y 3000 m, y esta información se extiende, ya dentro del modelo, a los niveles sigma que se encuentran por debajo de 5 Km.

Se realiza una ejecución diaria del modelo con un alcance de predicción de 48 horas. Estas predicciones se almacenan en el sistema de almacenamiento masivo de AEMET, posteriormente con la ayuda de los datos de observaciones de la red de contaminación de fondo EMEP/VAG gestionada por AEMET y otras redes autonómicas y locales, se seleccionan situaciones interesantes (casos de estudio) y se comparan las salidas de MOCAGE de alta resolución con los miembros del ensemble regional de MACC y la media del ensemble.

Las predicciones diarias en formato GRIB2 son enviadas a Météo-France para su publicación en la página web de los proyectos MACC y MACC-II: http://macc-raq.gmes-atmosphere.eu/som_AEM.php

Casos de estudio:

- Episodio de pico de NO₂ entre el 5 y 9 de febrero de 2011

Durante este periodo los medios de comunicación anunciaron la presencia de elevados niveles de NO₂, las autoridades locales recomendaban a la población no utilizar el coche para no agravar el problema. Pero la contaminación del tráfico ensombreció Madrid y Barcelona. Incluso en los hospitales se registró un aumento en el número pacientes que acudieron con problemas respiratorios.



Fig. 1.- Imagen de Barcelona el 7 de febrero del 2011



Fig. 2.- Imagen de Madrid el 7 de febrero del 2011

Este mes de febrero de 2011 fue ligeramente cálido y seco con circulación zonal en altas latitudes en el Atlántico. La Península Ibérica y Baleares se vieron afectadas por masas de aire cálido y altas presiones. El tiempo fue estable con nieblas y brumas en muchos puntos y temperaturas suaves.

La situación sinóptica durante todo este periodo de febrero fue de nieblas, poca ventilación y mucha estabilidad atmosférica, impidiendo que la contaminación se liberase provocando una elevada acumulación, alcanzándose valores muy altos en la concentración de los óxidos de nitrógeno, especialmente en las grandes ciudades como Barcelona, Madrid y Valencia.

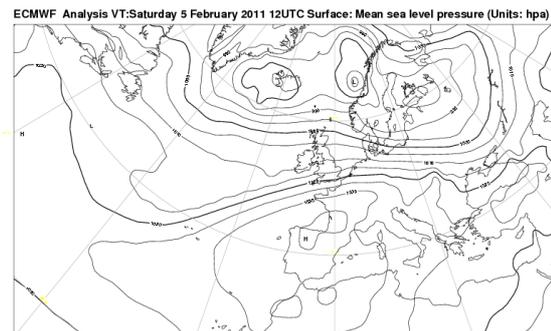


Fig. 3.- Presión a nivel del mar (hPa) para el 5 de febrero del 2011 a las 12 UTC.

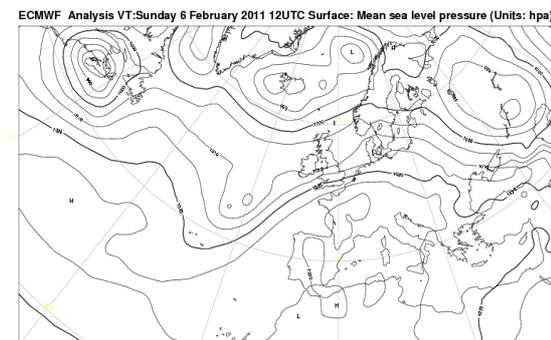


Fig. 4.- Presión a nivel del mar (hPa) para el 6 de febrero del 2011 a las 12 UTC.

ECMWF Analysis VT-Monday 7 February 2011 12UTC Surface: Mean sea level pressure (Units: hpa)

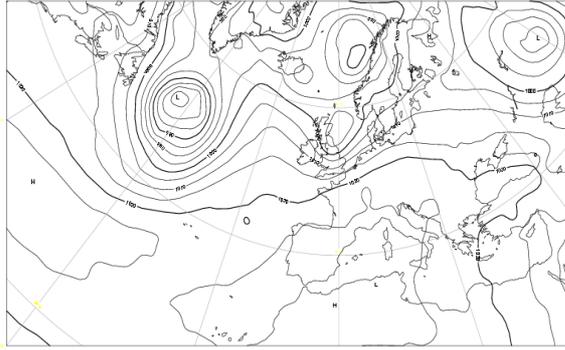


Fig. 5.- Presión a nivel del mar (hPa) para el 7 de febrero del 2011 a las 12 UTC.

En las imágenes precedentes del modelo MACCH3 MOCAGE se observan los picos de contaminación en las grandes ciudades dejando las áreas rurales con poca contaminación. Los máximos de NO₂ se produjeron alrededor de las 20.00 horas locales en las áreas urbanas. En las zonas rurales se pueden alcanzar los picos a cualquier hora del día.

06 Feb 2011 00 UTC AEMET Previsto HH+21 Validó: 06 Feb 2011 21 UTC
Modelo: MOCAGE MACCH3 Altura: Superficie Parametro: NO_2 [ug/m3]

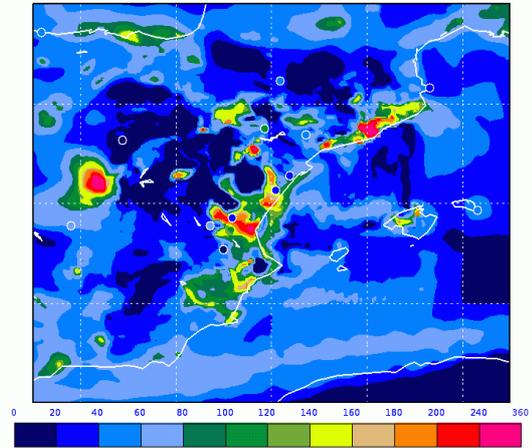


Fig. 7.- Predicción de concentración de NO₂ (ug/m³) con MACCH3 MOCAGE plotando las observaciones de la red de estaciones para el día 6 de febrero del 2011 a las 21 UTC

05 Feb 2011 00 UTC AEMET Previsto HH+21 Validó: 05 Feb 2011 21 UTC
Modelo: MOCAGE MACCH3 Altura: Superficie Parametro: NO_2 [ug/m3]

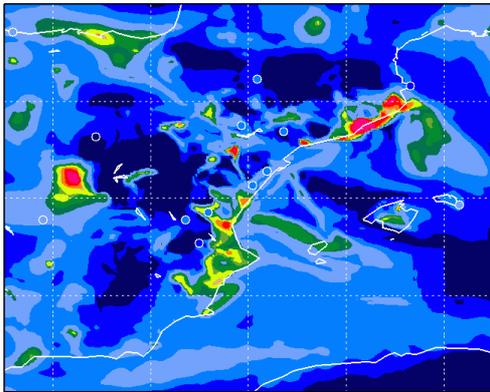


Fig. 6.- Predicción de concentración de NO₂ (ug/m³) con MACCH3 MOCAGE plotando las observaciones de la red de estaciones para el día 5 de febrero del 2011 a las 21 UTC.

07 Feb 2011 00 UTC AEMET Previsto HH+21 Validó: 07 Feb 2011 21 UTC
Modelo: MOCAGE MACCH3 Altura: Superficie Parametro: NO_2 [ug/m3]

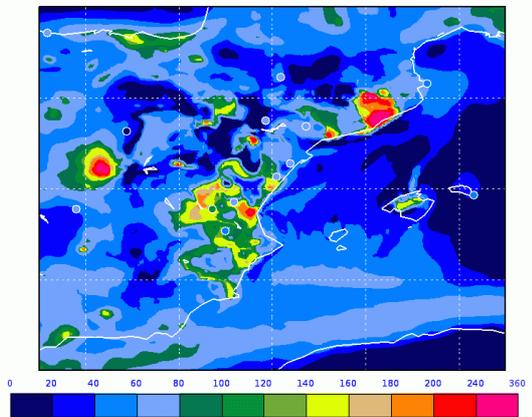


Fig. 8.- Predicción de concentración de NO₂ (ug/m³) con MACCH3 MOCAGE plotando las observaciones de la red de estaciones para el día 7 de febrero del 2011 a las 21 UTC.

08 Feb 2011 00 UTC AEMET Previsto HH+21 Valido: 08 Feb 2011 21 UTC
 Modelo: MOCAGE MACCH3 Altura: Superficie Parametro: NO_2 [ug/m3]

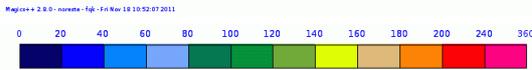
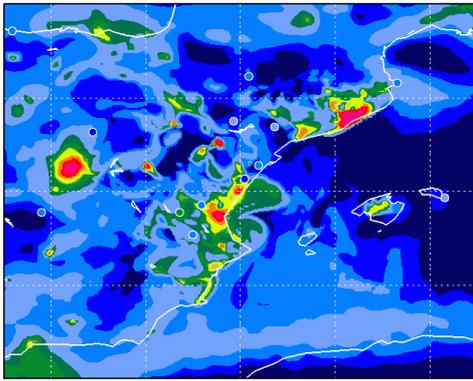


Fig. 9.- Predicción de concentración de NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con MACCH3 MOCAGE plotando las observaciones de la red de estaciones para el día 8 de febrero del 2011 a las 21 UTC.

09 Feb 2011 00 UTC AEMET Previsto HH+21 Valido: 09 Feb 2011 21 UTC
 Modelo: MOCAGE MACCH3 Altura: Superficie Parametro: NO_2 [ug/m3]

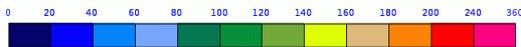
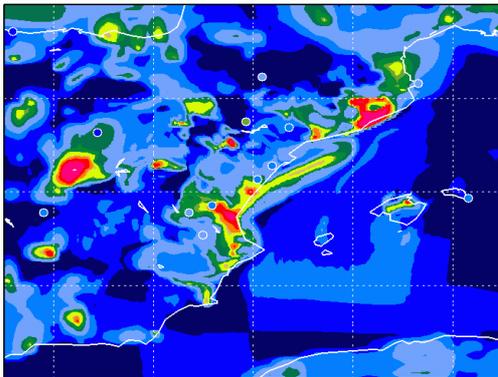


Fig. 10.- Predicción de concentración de NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con MACCH3 MOCAGE plotando las observaciones de la red de estaciones para el día 9 de febrero del 2011 a las 21 UTC.

Teniendo en cuenta que el valor límite horario para la protección de la salud humana para el NO2 es de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En Madrid se observaron durante el 6 de febrero entre las 18.00 y 22.00 horas locales el valor medios horario de de $395 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y alrededor de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el resto de los días del episodio. Véase la tabla 1.

	6 febrero	7 febrero
Estación	NO2($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO2($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ramón y Cajal	395	217
Fernández Ladreda	302	293
Mendez Alvaro	210	261
Casa de Campo	103	130
Arturo Soria	241	269
Media de la Red	170	184

Tabla 1.- Valores de NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en promedio horario registrados en Madrid por la Red de Calidad del Aire para los días 6 y 7 de febrero del 2011.
 Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

Durante este periodo se registraron altos valores de NO2 en España, las ciudades más afectadas fueron Madrid y Barcelona con superaciones de los $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras en Valencia los valores horarios fueron por encima de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En contraste los valores de O3 se mantuvieron dentro de los límites legales.

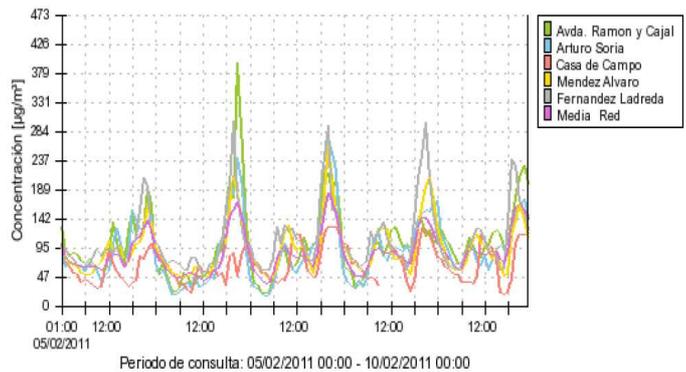


Fig. 11.- Concentración de NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en promedio horario en las estaciones de calidad del aire madrileñas entre los días 5 de febrero del 2011 y 9 de febrero del 2011.

En cambio los valores de los contaminantes y el NO2 en las estaciones rurales (EMEP/GAW) no fueron significativos. (Tabla 2.)

	6 febrero	7 febrero
Estación EMEP	NO2($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO2($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
San Pablo de los Montes	13	23
Mahón	14	6
Niembro	15	12
Campisábalos	1	1
Cabo de Creus	5	5
Zarra	3	8
Els Torms	9	19

Tabla 2.- Valores de NO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en promedio horario registrados en las estaciones rurales EMEP/GAW españolas para los días 6 y 7 de febrero del 2011.
 Fuente: EMEP/GAW.

- Episodio de pico de O₃ entre el 5 y 7 de julio de 2011

La característica principal de este mes de julio en España fue la falta de periodos largos continuados de altas temperaturas, la ausencia de olas de calor y condiciones anticiclónicas duraderas, lo que hizo que apenas hubiese episodios con altos niveles de ozono.

La situación sinóptica se caracterizó por la presencia de altas presiones centradas en el Atlántico, de forma que en la península Ibérica el campo de presiones fue muy uniforme, con un gradiente de presión débil y vientos muy suaves cerca de la superficie, que combinados con la estabilidad atmosférica hicieron que los contaminantes permaneciesen próximos al lugar donde se generaron.

En estas fechas se dieron altas temperaturas y ausencia de precipitaciones, de forma que el 5 de julio se registraron elevadas temperaturas en el valle del Ebro y centro peninsular. El máximo de temperaturas se fue desplazando a lo largo de las horas por el Mediterráneo, llegando a afectar a las Islas Baleares el día 7 de julio, mientras que iban descendiendo por el resto de la Península.

Se observó una correlación entre estos máximos de temperatura con los picos de concentración máxima de O₃.

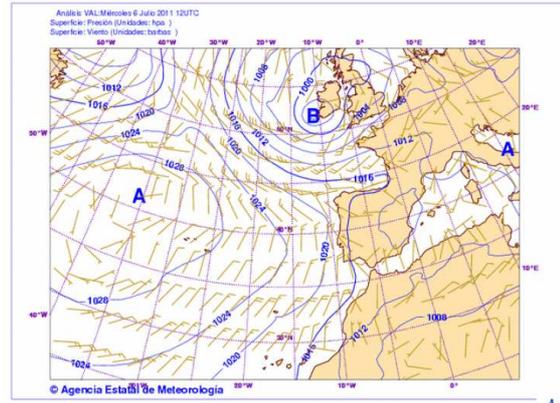


Fig. 13- Presión a nivel del mar (hPa) para el 6 de julio del 2011 a las 12 UTC.

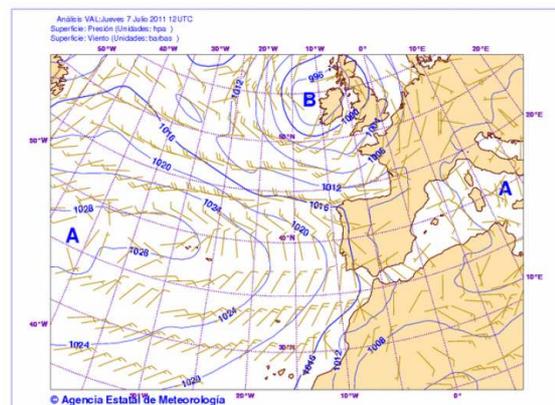


Fig. 14- Presión a nivel del mar (hPa) para el 7 de julio del 2011 a las 12 UTC

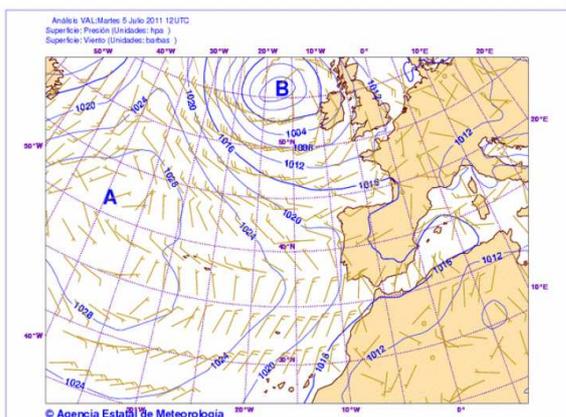


Fig. 12- Presión a nivel del mar (hPa) para el 5 de julio del 2011 a las 12 UTC.

Las imágenes de concentración de O₃ predichas por modelo MACCH3 MOCAGE:

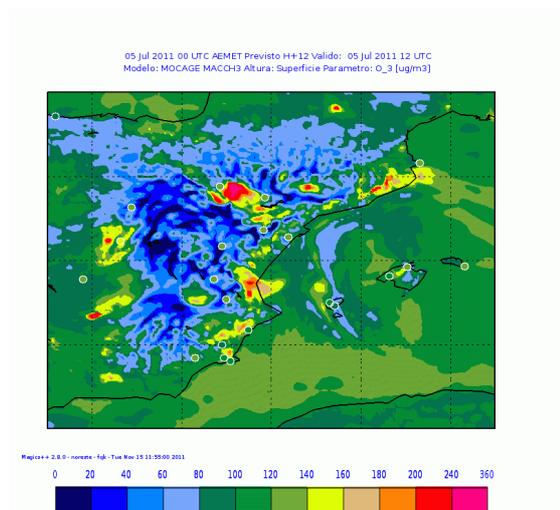
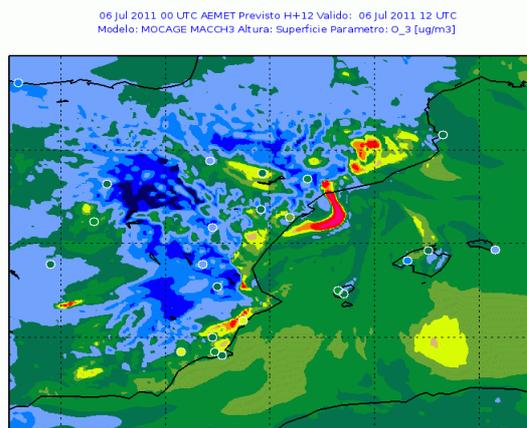


Fig. 15.- Predicción de concentración de O₃ (µg/m³) con MACCH3 MOCAGE planteando las observaciones de la red de estaciones para el 5 julio de 2011 a la hora 12:00 UTC.



Magice + 2.8.0 - noreste - FgJ - Tue Nov 15 11:58:59 2011

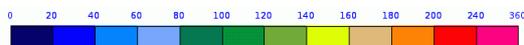
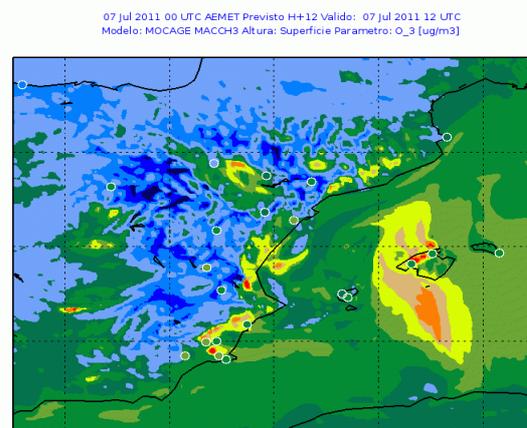


Fig. 16.- Predicción de concentración de O3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con MACCH3 MOCAGE plotando las observaciones de la red de estaciones para el 6 julio de 2011 a la hora 12:00 UTC.



Magice + 2.8.0 - noreste - FgJ - Tue Nov 15 11:47:45 2011

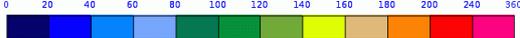


Fig. 17.- Predicción de concentración de O3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con MACCH3 MOCAGE plotando las observaciones de la red de estaciones para el 7 julio de 2011 a la hora 12:00 UTC.

Incluso en las grandes ciudades como Madrid los valores de O3 medidos no son muy elevados, habiéndose detectado picos entre 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Durante el tiempo que duró este episodio los valores para el O3 son elevados, pero no tanto como los predichos por el modelo MACCH3 MOCAGE.

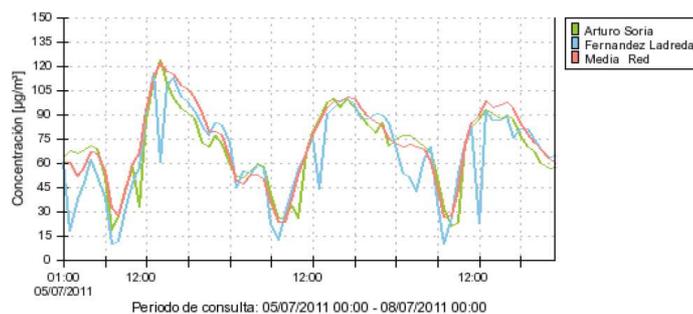


Fig. 18.- Concentración de O3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en promedio horario en las estaciones de calidad del aire madrileñas entre los días 5 de julio del 2011 y 7 de julio del 2011

Conclusiones:

Sobre el caso del pico de contaminación de NO2 en febrero se puede concluir que el episodio fue predicho con acierto por el modelo representando altos valores de concentración de NO2 en las principales ciudades, siendo estos valores coincidentes con los valores de la media del Ensemble Regional (RAQ MACC Ensemble), dejando el resto del territorio más o menos libre de contaminación, también los valores de las estaciones rurales y de fondo están de acuerdo con el modelo.

Para el estudio de ozono en julio, el modelo predice con exactitud las áreas donde se registraron las mayores concentraciones de O3, aunque los valores máximos parecen sobreestimados por el modelo comparados con los obtenidos por la observación llevada a cabo por la Red de Calidad del Aire. Se han realizado algunos experimentos modificando el paso de tiempo de la advección semi-Lagrangiana, resultando que cuanto menor es el paso de tiempo más cercanos a la realidad son los valores de O3.

Agradecimientos:

Météo France por la colaboración a través del modelo de transporte químico MOCAGE.

A los Proyectos MACC y MACC-II, por su interés en este estudio y a la Unión Europea que financia ambos proyectos a través de su 7º Programa Marco de Investigación.

Referencias:

Cansado, A., García-Moya, J.A., López, E., Martínez, I., Navascués, B., Santos, I., Deserti, M., Stortini, M., Maurizi, A., Melas, D., Peuch, V.-H. (2011) Air Quality Modelling in the Mediterranean Area. Evaluation of R-ENS forecasts against higher resolution models and expression of requirements

for improving R-ENS products quality and use.
Disponible en la página web de MACC y MACC-II:
<http://www.gmes-atmosphere.eu/documents/deliverables/o-int/?op=get>

Josse, B., Simon, P. and Peuch, V.-H. (2004):
Radon global simulations with the multiscale
chemistry and transport model MOCAGE. *Tellus B*,
56: 339-356. doi: 10.1111/j.1600-
0889.2004.00112.x

McDonald, A. & Haugen, J.E. (1992): A Two-Time
Level, Three-Dimensional Semi-Lagrangian, Semi-
Implicit, Limited-Area Gridpoint Model of the
Primitive Equations. *Monthly Weather Review*.
Volume 120, pp 2603-2621.

Undén, P, et al.: HIRLAM-5 Scientific
Documentation (2002). Norrköping . (Disponible en
http://www.hirlam.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=270&Itemid=70)

Visschedijk, A.J.H., Zandveld, P.Y.J., Denier van
der Gon, H.A.C. (2007): A High Resolution Gridded
European Emission Database for the EU Integrate
Project GEMS. TNO-report 2007-A-R0233/B,
Apeldoorn, The Netherlands.