



Informe relatiu al comportament de l'ozó troposfèric a Catalunya

1. Introducció

El Departament de Territori i Sostenibilitat és l'òrgan responsable de l'avaluació de la qualitat de l'aire a Catalunya. La principal eina per realitzar aquesta tasca és la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA) que integra els diferents punts de mesura distribuïts al territori.

L'avaluació de la qualitat de l'aire es fa d'acord amb la legislació vigent (Directiva 2008/50/CE, Reial Decret 102/2011, relatiu a la millora de la qualitat de l'aire, etc). L'ozó troposfèric és un dels contaminants que regula el Reial Decret 102/2011. Des del Servei de Vigilància i Control de l'Aire del Departament de Territori i Sostenibilitat, i en compliment d'aquesta normativa, es vigilen permanentment els nivells d'ozó troposfèric que mesuren les estacions de la XVPCA, però a més, durant el període en què hi ha més possibilitats que els nivells d'ozó superin el llindar d'informació a la població i d'alerta, es duu a terme la *Campanya de vigilància dels nivells d'ozó troposfèric a Catalunya*, donant informació a la població en cas de superació d'algun d'aquests llindars i quin és el pronòstic de la seva evolució. La XVPCA disposa de 47 punts de mesurament a la xarxa que actualment analitzen l'ozó troposfèric distribuïts per tot el territori català.

2. L'ozó troposfèric

2.1. Què és l'ozó troposfèric?

L'ozó és un gas incolor, invisible i d'olor agradable. Es tracta d'una molècula formada per tres àtoms d'oxigen (O_3), a diferència de la molècula d'oxigen que respirem i que està formada per dos àtoms (O_2). El tercer àtom de l'ozó té una gran tendència a separar-se de la molècula d'ozó i combinar-se amb altres elements químics, tot oxidant-los. Aquesta característica fa de l'ozó un gas molt reactiu.

Cal distingir la **capa d'ozó**, que es troba de forma natural a l'estratosfera i és beneficiosa perquè ens protegeix dels rajos solars ultraviolats, de l'**ozó troposfèric**, que és als primers quilòmetres sobre la superfície terrestre, no té un origen natural i té efectes negatius sobre els éssers vius.

2.2. Com es comporta l'ozó troposfèric?

Tots els contaminants, una vegada són a l'atmosfera, pateixen una sèrie de fenòmens físics i químics. Els més importants tenen a veure amb les condicions meteorològiques, especialment el transport a causa del vent.

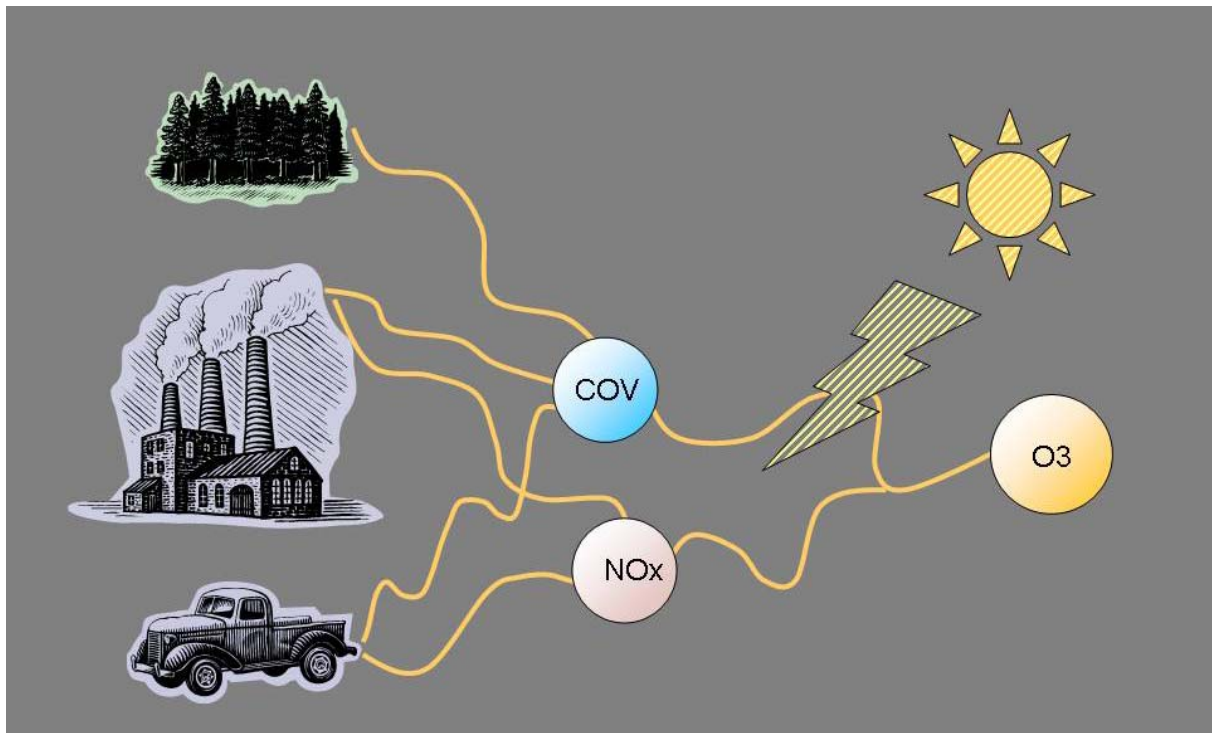
El seu origen

L'ozó troposfèric té la particularitat de ser un **contaminant secundari**, és a dir, no hi ha cap font que emeti aquest gas (en contraposició als contaminants primaris que sí són emesos directament per un algun focus, com ara el monòxid de carboni que surt d'una xemeneia), sinó que es forma a partir d'altres substàncies: els anomenats **precursors**, que són bàsicament els **òxids de nitrogen (NOx)**: conjunt de compostos formats per un àtom de nitrogen i àtoms d'oxigen, els més habituals dels quals són el NO i el NO₂) i els **compostos orgànics volàtils (COVs)**. A més, les reaccions químiques entre aquestes substàncies per



produir-se necessiten de **radiació solar** intensa al llarg d'un període de temps prou llarg (un mínim de diverses hores) i una **temperatura ambiental suficientment elevada**. Aquests són els elements bàsics que donen origen a la formació d'ozó a la troposfera, però es tracta, en realitat, d'un procés complex que depèn de molts altres factors i que és format per una gran quantitat de reaccions químiques entrelaçades.

El mecanisme bàsic de formació de l'ozó és el següent:



Gràfic 1: esquema dels principals factors que intervenen en la formació d'ozó troposfèric.

D'aquesta manera, com més NO_2 hi hagi, més O_3 es formarà. Però això es complica perquè en aquest mateix procés el NO generat torna a reaccionar amb el O_3 , fet que faria desaparèixer tot l'ozó generat, tornant altra vegada al principi.

Però la presència dels COV desvia aquesta darrera reacció perquè captura el NO , impedit que reaccionés amb el O_3 . Això comporta com a conseqüència que el NO_2 vagi transformant en O_3 , sempre i quan hi hagi prou COV .

Les principals fonts d'emissió de precursors són, per una banda, el transport terrestre i les grans activitats industrials que utilitzen combustions, ja que generen òxids de nitrogen. Per altra banda, les emissions de COV més importants són les activitats que treballen amb hidrocarburs, però també les fonts biogèniques que provenen de la vegetació (i que augmenten amb la temperatura, per la qual cosa la temperatura és un factor que afavoreix la formació d'ozó, a més del fet que la temperatura accelera les reaccions químiques).

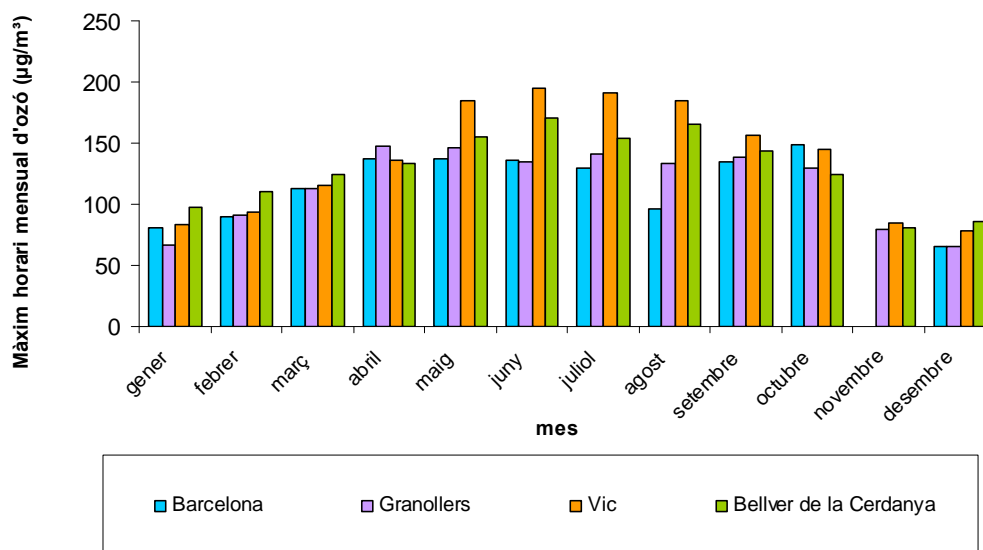


Quan n'hi ha més?

Com a conseqüència de la seva dependència de la radiació solar i la temperatura, la concentració d'ozó a la troposfera varia al llarg de l'any i és màxima a l'estiu, quan hi ha més radiació solar disponible i la temperatura és més alta, mentre que a l'hivern assoleix el seu mínim. També hi sol haver una variació al llarg del dia, assolint-se un màxim al migdia i la tarda. És obvi, però, que els dies amb núvols i quan la temperatura disminueix per algun fenomen meteorològic, els nivells d'ozó disminueixen. Finalment, els dies en què les condicions de dispersió de l'atmosfera són bones, quan el vent és prou fort com per barrejar l'aire i transportar els contaminants més lluny, les concentracions d'ozó també són més baixes.

A continuació es mostra un gràfic on es mostra el màxim horari mensual de l'ozó troposfèric per a l'any 2011, a les estacions de Barcelona (Ciutadella), Granollers, Vic i Bellver de Cerdanya:

Màxims horaris mensuals d'ozó troposfèric any 2011



Gràfic 2: evolució intermensual de les concentracions mitjanes d'ozó troposfèric enregistrades a diverses estacions de la XVPCA.

On n'hi ha més i on n'hi ha menys?

Els valors d'ozó enregistrats als punts de mesurament urbans solen ser moderats. Això és originat perquè les proporcions dels precursors no són les idònies per a la seva formació. Habitualment el que succeeix és que hi ha molts òxids de nitrogen però pocs COV, de manera que les reaccions químiques tendeixen a destruir l'ozó que generen.

En canvi, a mesura que ens allunyem dels grans nuclis urbans, les concentracions del còctel de precursors de l'ozó s'equilibra, de manera que a sotavent de les grans ciutats és on es registren els nivells més elevats d'ozó troposfèric.



A mesura que el vent s'emporta els precursors lluny de les fonts on s'han emès els precursors, les substàncies van trobant altres precursors i van reaccionant entre elles, de manera que les concentracions dels diferents compostos que es troben en aquesta massa d'aire que es va desplaçant van variant a mesura que són transportades pel vent.

2.3.1. Com es comporta l'ozó troposfèric a Catalunya?

Fenòmens de transport

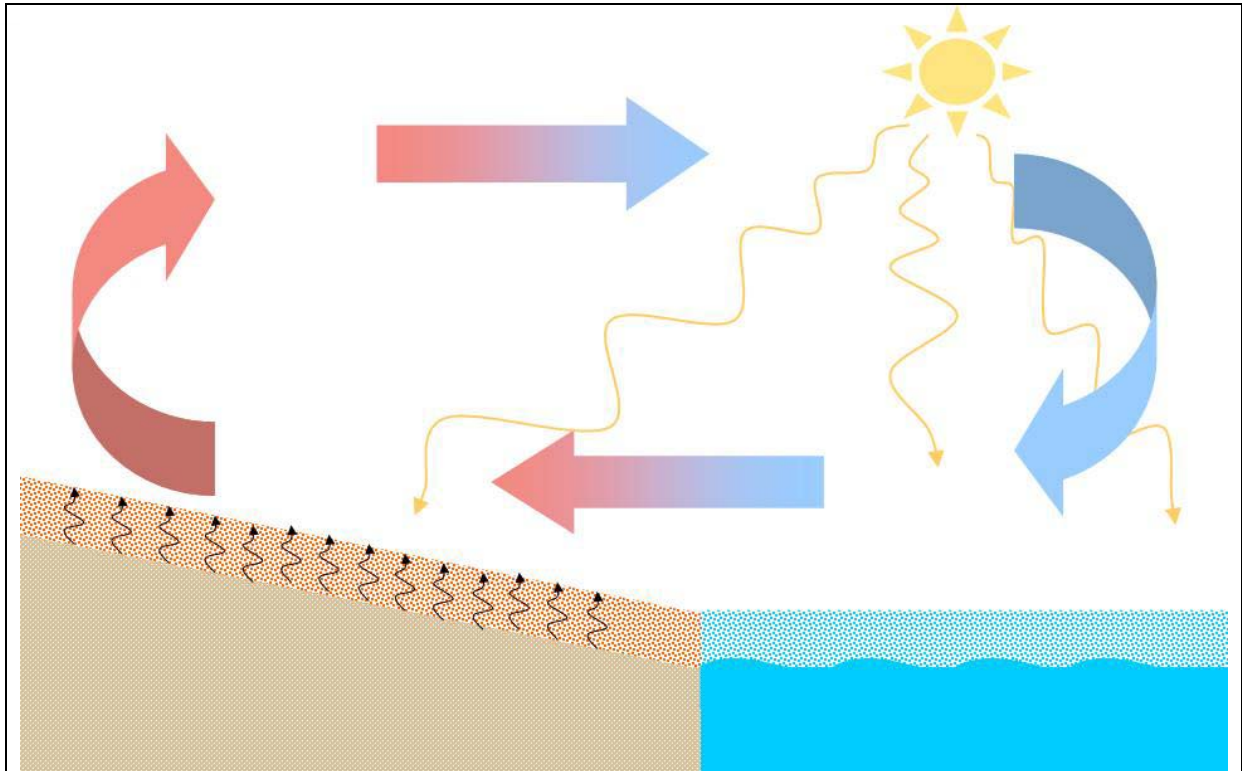
A part dels precursors, la radiació solar i la temperatura, l'ozó troposfèric és afectat, de la mateixa manera que la resta de contaminants atmosfèrics, pels fenòmens de transport que tenen lloc a l'atmosfera.

Els dies amb les condicions més propícies per a la formació d'ozó troposfèric són els dies d'estiu amb una situació meteorològica dominada per un anticicló en superfície o per un pantà baromètric, perquè en aquests casos, la radiació solar és forta, la temperatura elevada i el vent fluix. En aquestes condicions, el fenomen de transport més important són les brises d'origen tèrmic, especialment la marinada.

El fenomen de transport més important per a l'ozó troposfèric són les brises, perquè són els vents més destacats quan les condicions generals són propícies per a la formació de l'ozó, és a dir, quan hi ha forta radiació solar, la temperatura és elevada i no hi ha vent sinòptic fort que dispersi els contaminants.

La marinada és originada per la diferència de temperatures entre el mar i el terra, ja que el mar té molta inèrcia tèrmica i costa molt d'escalfar, mentre que el sòl s'escalfa amb rapidesa si la radiació solar és prou elevada. Aleshores, l'aire que hi ha sobre la superfície del terra s'escalfa i puja cap amunt perquè és menys dens. Aquest aire ha de ser substituït i això genera un efecte de succió que empeny l'aire que hi ha sobre el mar, que és més fred, cap a l'interior. Finalment, a mesura que passen les hores del dia, l'efecte Coriolis va prenent modificant la direcció d'aquest vent fins que acaba sent paral·lel a la costa. D'aquesta manera, en un dia que no hi hagi cap vent sinòptic (de gran escala) dominant, el vent a la costa començarà a bufar perpendicular al litoral a mig matí, s'anirà accelerant i acabarà sent paral·lel a la costa.

Les marinades són vents força locals, però que poden penetrar fins a més de 100 quilòmetres cap a l'interior, transportant amb ella els contaminants. Evidentment, una vegada penetren el litoral es veuran modificats per la orografia, de manera que tendiran a seguir les valls o ascendir per sobre de les muntanyes.



Gràfic 3: Esquema del cicle de la marinada. L'aire que es troba en contacte amb el terra escalfat pel sol, s'eleva perquè és menys dens. Alhora, per omplir aquest buit que deixa aquesta massa que ascendeix sobre la superfície terrestre, es transporta aire de la superfície del mar cap a terra. L'aire que està en contacte amb el mar no s'eleva perquè està més fred, i en conseqüència, més dens i té més dificultats per elevar-se. Aquest fet genera una cel·la que bombeja aire, des del mar cap a terra en superfície, i de terra cap a mar en alçada, tancant així el cicle.

Dins de la conca mediterrània, s'observa com la marinada, a mesura que transporta els contaminants cap a l'interior també ascendeix d'altura tot seguint el perfil de les serralades paral·leles a la costa. Quan són prou amunt tornen en direcció cap al mar empesos pel retorn de la marinada que tanca el cicle a diversos quilòmetres d'altura. Això va generant capes estratificades que s'acumulen sobre el mar i que contenen contaminants vells que en determinades circumstàncies tornen al nivell del terra i s'ajunten amb els contaminants frescos.

La seva velocitat no és molt alta, però sí poden ser d'uns quants metres per segon, suficients per transportar els contaminants terra endins els dies que no hi ha altres vents predominants.

On n'hi ha més i on n'hi ha menys a Catalunya?

Cal distingir tres tipus de localitzacions en funció dels nivells enregistrats d'ozó. En primer lloc, les ubicacions urbanes properes a fonts d'emissió de precursors, com ara les estacions dins de nuclis de població important, com és el cas de les de Barcelona, Sabadell, Terrassa o Badalona. Els nivells que registren els analitzadors d'aquestes estacions solen ser els més baixos de tot el país, i presenten una evolució diària marcada per l'efecte de les emissions del trànsit.

Per altra banda, hi ha estacions ubicades en zones rurals molt allunyades de fonts importants de precursors i que no són a sotavent de cap nucli important de població. Els

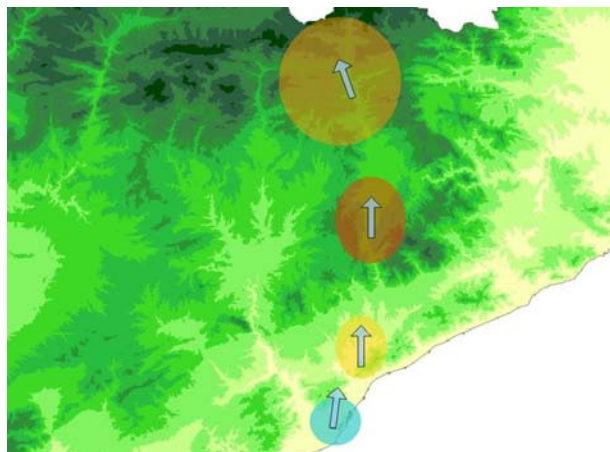


nivells enregistrats en aquestes estacions solen ser força estables i normalment no presenten valors gaire baixos.

Finalment, trobem estacions ubicades sotavent dels grans nuclis de població i que, per tant, reben la influència de les seves emissions de precursors. Els nivells enregistrats en aquestes estacions poden presentar episodis de concentracions elevades d'ozó, que poden superar el llindar d'informació a la població (establert a la legislació europea i estatal com a $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en mitjana d'una hora, i que en cas de superació obliga a avisar a la població de què les persones més sensibles a patir algun efecte sobre la seva salut prenguin mesures preventives) durant algunes poques hores, però molt rarament superen el llindar d'alerta (establert a la legislació europea i estatal com a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en mitjana d'una hora, i que en cas de superació obliga a avisar a la població de que les persones en general prenguin mesures preventives). És tracta de llocs, que pateixen episodis de concentració elevada d'ozó.

Des de l'any 2000, el màxim horari històric que s'ha enregistrat a Catalunya ha estat a Vila-seca, on es va superar el llindar d'alerta amb un valor de $384 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'any 2002. De fet, històricament els màxims horaris més alts s'han donat al Camp de Tarragona. En canvi, en general, on s'han donat més superacions del llindar d'informació a la població des de l'any 2000, ha estat a la Plana de Vic.

Per tant, les zones que pateixen més habitualment aquests episodis són el Camp de Tarragona, la Plana de Vic, Pirineu Oriental i les Comarques de Girona. En el cas del Camp de Tarragona, les màximes concentracions d'ozó troposfèric es registren en estacions a sotavent de la ciutat de Tarragona quan la marinada transporta cap a l'interior de les seves emissions barrejades amb les emissions de les activitats industrials del seu voltant. En canvi, en els dos darrers casos es tracta de zones a sotavent afectades per les emissions de l'Àrea de Barcelona, on arriben els precursors empesos per la marinada.

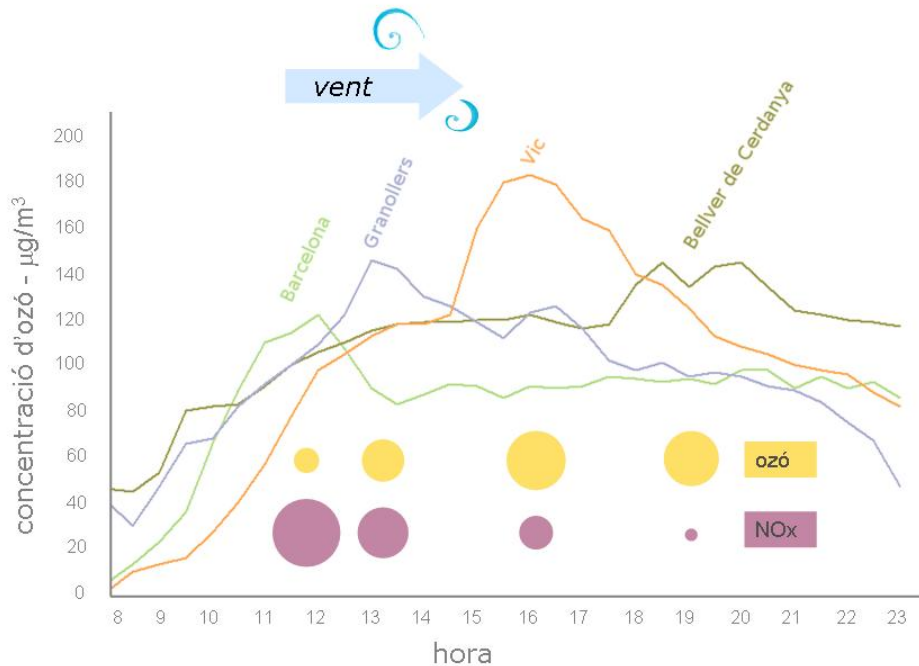


Gràfic 4: Evolució de la massa d'aire que surt de Barcelona, on s'emeten els precursors i les concentracions d'ozó són relativament baixes, i és empesa per la marinada per la conca del riu Congost fins a la Plana de Vic i més amunt fins la Cerdanya. Els nivells d'ozó van augmentant a mesura que la massa d'aire es mou, rep radiació solar per anar reaccionant i troba altres precursors.

A la gràfica següent es representa com evoluciona la concentració l'ozó troposfèric durant un dia d'estiu des de la ciutat de Barcelona, passant per Granollers i Vic, i acabant finalment a Bellver de Cerdanya. S'aprecia que tot just quan comença a escalfar el sol, els precursors de l'ozó troposfèric són màxims a Barcelona, desplaçant-se al llarg de les hores cap a l'interior i en direcció nord-nord-oest, moment en el qual els òxids de nitrogen donen pas a la

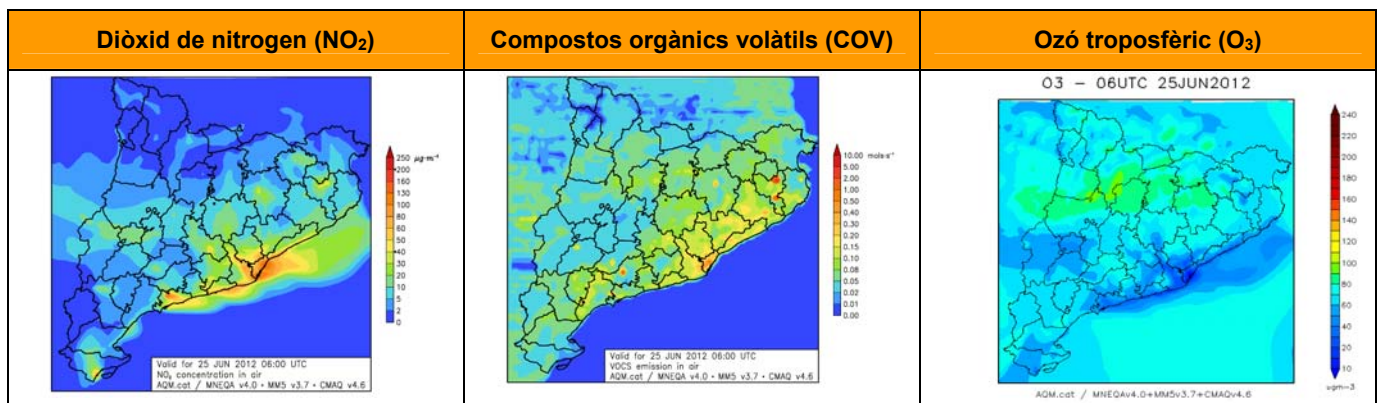


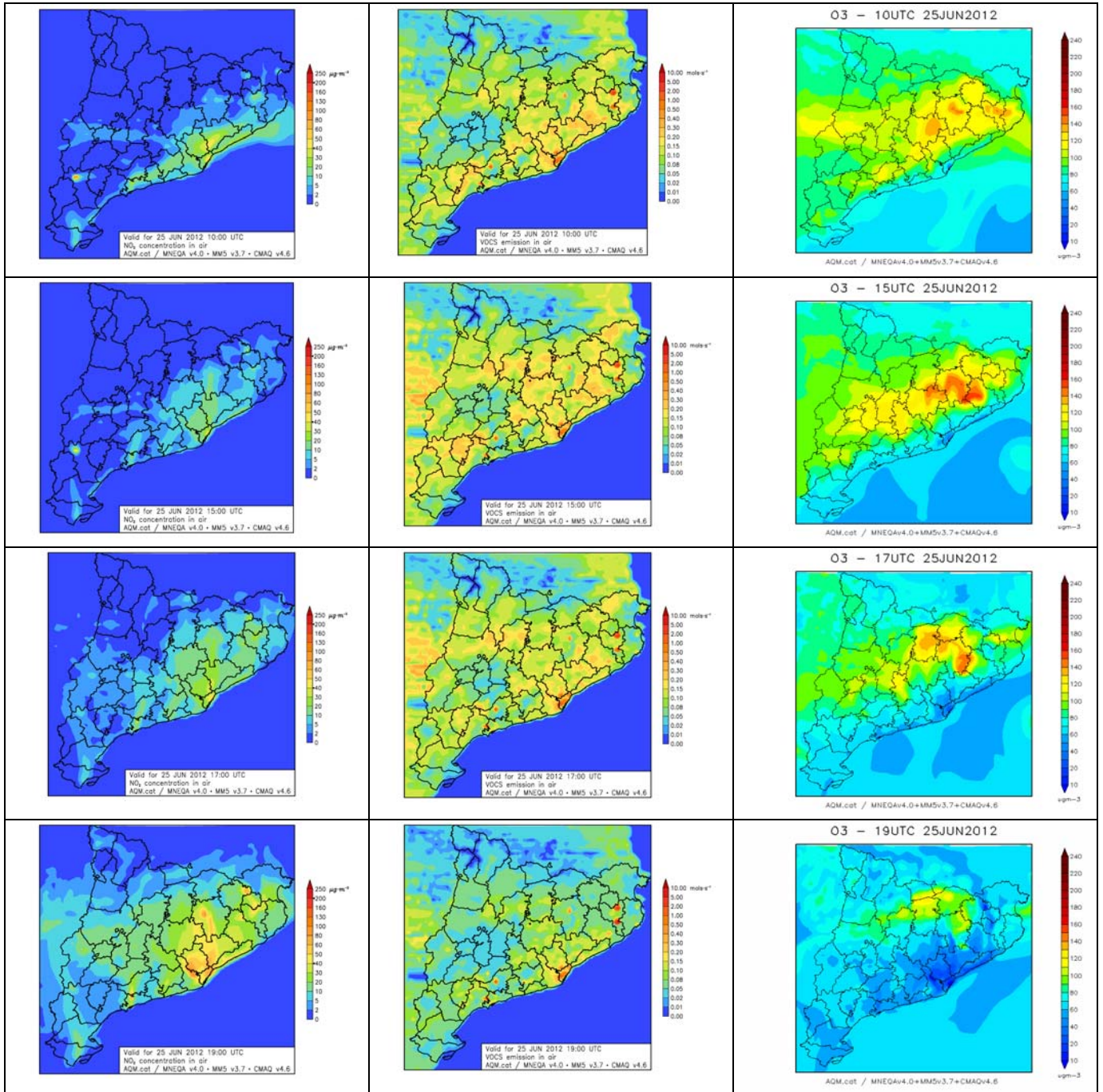
formació d'ozó, el qual tindrà el seu màxim tot just quan la radiació solar és màxima i l'atmosfera en superfície està més calenta. Per aquelles hores ja s'haurà transportat fins a la Plana de Vic per acabar, finalment, a la zona de Bellver de Cerdanya, on es toparà amb els Pirineus els quals els faran barrera:



Gràfic 5: En primer lloc, es representa la concentració d'ozó troposfèric mesurat a diverses estacions de la XVPCA durant un episodi d'ozó troposfèric, el dia 23/07/2012. La concentració d'ozó, dins de la massa d'aire carregada de precursors que surt des de l'Àrea de Barcelona, va augmentant a mesura que és transportada per la marineda en direcció nord perquè va trobant condicions propícies per a la seva formació. En aquest cas es produeix una superació del lílndar d'informació horari ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a Vic. Per que fa a la interpretació de les boles de colors, s'aprecia visualment la variació de la concentració dels NOx i de l'ozó, durant una mateixa hora del dia, en cadascun dels municipis representats.

A continuació es mostren les imatges d'una simulació realitzada amb el model de la Universitat de Barcelona, pel dia 25 de juny de 2012 (en hora UTC), on s'aprecia la formació dels precursors a la zona litoral de Catalunya, els transport d'aquests gràcies a la marineda i la formació de l'ozó troposfèric:





Gràfic 6: mapes obtinguts a partir de la simulació amb el model AQM de la Universitat de Barcelona de les concentracions de NO₂, COV i O₃, de cada hora (UTC), per al dia 25 de juny de 2012. S'aprecia la relació directa que tenen els precursors de l'ozó troposfèric amb aquest i el seu transport i diferència de concentració en els diferents llocs del territori (primer des de l'Àrea de Barcelona i els Vallesos, cap a la Plana de Vic i posteriorment fins als Pirineus).

Secció d'Immissions
Servei de Vigilància i Control de l'Aire

Barcelona, 25 de setembre de 2012