

**PLA
CLIMA**



ESTUDI DELS IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC A BARCELONA



CAPÍTOL VII

QUALITAT DE L'AIRE

BR

BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ

Ajuntament de
Barcelona



CLIENT



**Ajuntament
de Barcelona**

REDACCIÓ



BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ

CARRER 60, 25-27.
EDIFICI Z, PLANTA 2
SECTOR A, ZONA FRANCA
08040 BARCELONA
T 932 237 400
F 932 237 414

www.bcnregional.com
br@bcnregional.com

COORDINACIÓ

Marc Montlleó Balsebre, *Director Tècnic i Director de projectes ambientals*

COL·LABORACIÓ

Jose Lao Mulero, *Cap de Qualitat de l'aire i Eficiència Energètica*
Gustavo Arévalo Roa, *Enginyer Químic, PhD en Enginyeria Ambiental*

i l'equip tècnic i administratiu de Barcelona Regional

DIRECCIÓ PER PART DE L'AJUNTAMENT DE BARCELONA

Irma Ventayol i Ceferino, *Coordinadora de l'Oficina de Sostenibilitat*
Ares Gabàs Masip, *Responsable de Resiliència Urbana*

I L'EQUIP TÈCNIC:
Benjamí Gauchía Legal
Antoni González Gómez
Patricia Lacera Martínez

© 2017, BARCELONA REGIONAL



ÍNDEX

1. PRESENTACIÓ	5
1.1. OBJECTIUS I ABAST	7
1.2. INTRODUCCIÓ	8
2. ANÀLISI I DIAGNOSI	11
2.1. LA QUALITAT DE L'AIRE A BARCELONA	13
2.2. ANTECEDENTS	17
2.3. CARACTERISTIQUES I DINÀMICA DELS PRINCIPALS CONTAMINANTS	19
2.3.1. Partícules – PM ₁₀ i PM _{2,5}	19
2.3.2. Ozó troposfèric - O ₃	20
2.3.3. Diòxid de nitrogen - NO ₂	20
2.4. ANÀLISIS DE LES SITUACIONS SINÒPTIQUES	22
2.4.1. Situacions sinòptiques PM ₁₀	23
2.4.2. Situacions sinòptiques per l'ozó	41
2.4.3. Situacions sinòptiques per NO ₂	54
2.5. ANÀLISI DELS EFECTES DE LA METEOROLOGIA LOCAL SOBRE LA QUALITAT DE L'AIRE	67
2.5.1. Introducció als models GAM	68
2.5.2. Metodologia	70
2.5.3. Dades utilitzades per modelitzar	71
2.5.4. Modelització	72
2.5.5. Simulació de la qualitat de l'aire amb els escenaris del futur	86
3. CONCLUSIONS	89
4. RECOMANACIONS	93
5. BIBLIOGRAFIA	97
6. ANNEXOS	103
6.1. DINÀMICA DELS CONTAMINANTS ANALITZATS	105
6.1.1. Dinàmica de les partícules	105
6.1.2. Dinàmica de l'ozó	111
6.1.3. Dinàmica DEL NO ₂	117
6.2. METODOLOGIA UTILITZADA PER L'ANÀLISI DE LES SITUACIONS SINÒPTIQUES	118
6.2.1. Classificació sinòptica	118
6.2.2. Modelització climàtica	119
6.3. DIES IDENTIFICATS COM D'ALTA CONCENTRACIÓ PER L'ANÀLISI DELS PATRONS SINÒPTICS	121
6.3.1. Dies d'alta concentració de PM ₁₀ per patró (AAMMDD)	121
6.3.2. Dies d'alta concentració d'O ₃ per patró (AAMMDD)	122
6.3.3. Dies d'alta concentració de NO ₂ per patró (AAMMDD)	123
6.4. DADES UTILITZADES PER A L'ANALISI ESTADÍSTIC AMB EL MODEL GAM	124
6.4.1. Dades de qualitat de l'aire	124
6.4.2. Meteorologia	128
6.4.3. Altres variables utilitzades al model	134
6.5. DETALL DE LES MODELIZACIONS PER PM ₁₀	135
6.6. DETALL DE LES MODELIZACIONS PER O ₃	149
6.7. DETALL DE LES MODELIZACIONS PER NO ₂	163

1. PRESENTACIÓ

1.1. Objectius i abast

1.2. Introducció



1.1. OBJECTIUS I ABAST

Aquest treball s'emmarca dins de l'anàlisi de vulnerabilitat al canvi climàtic de Barcelona en marc de "l'Estudi dels impactes del canvi climàtic a Barcelona".

L'objectiu principal d'aquest capítol es veure quines conseqüències poden tenir els futurs escenaris de canvi climàtic sobre la qualitat de l'aire a Barcelona. En aquest sentit, s'analitzarà com el canvi climàtic pot afectar a la qualitat de l'aire, sota la consideració de mantenir les emissions de la ciutat constants (tot i que es preveuen millores tecnològiques que poden fer reduir aquestes emissions).

Per l'anàlisi s'utilitzen dos enfocaments complementaris.

- D'una banda, es fa un anàlisi a curt termini dels dies d'alta concentració (de durada de pocs dies), centrant l'anàlisi a les situacions meteorològiques sinòptiques que provoquen les condicions desfavorables i que deriven en una baixa qualitat de l'aire, per després analitzar si hi ha canvis en les característiques d'aquestes situacions sinòptiques considerant els possibles escenaris de futur climàtic.
- D'altre banda, es fa un creuament algorítmic de les dades de qualitat de l'aire amb la meteorologia local, a través de models estadístics per establir la relació entre la concentració de contaminants a llarg termini (en mitjana anual) i les variables meteorològiques. D'aquesta manera s'analitza com el canvi d'algunes variables meteorològiques, derivat dels futurs escenaris climàtics, poden afectar la concentració mitjana dels contaminants a la ciutat (**sota la consideració d'inventari d'emissions fix**).

Per veure aquests efectes s'analitzaran els següents punts:

- S'identificaran quines són les variables meteorològiques que més incideixen sobre la qualitat de l'aire i de quina manera ho fan.
- Es classificaran els episodis de contaminació per PM₁₀, O₃ i NO₂ segons situacions sinòptiques predominants.
- S'estableixen les situacions sinòptiques més freqüents que relacionen dies d'alta contaminació i s'analitza el seu comportament segons els escenaris de canvi climàtic.
- Es preveuen, considerant la meteorologia dels escenaris de futur, quin serà l'efecte sobre la concentració de PM₁₀, O₃ i NO₂ a Barcelona.

En aquest capítol també ha contribuït el SMC (Servei Meteorològic de Catalunya), concretament en la part de caracterització i classificació de patrons sinòptics, així com en la modelització dels escenaris meteorològics de futur de canvi climàtic definits en el document.

1.2. INTRODUCCIÓ

La contaminació atmosfèrica, és definida per la Directiva 84/360/CEE, com la introducció en l'atmosfera, directa o indirectament, de substàncies o d'energia que tinguin una acció nociva que posi en perill la salut de les persones, que pugui causar danys als recursos biològics i als ecosistemes, que deteriori els béns materials i que pugui danyar o perjudicar les activitats recreatives i altres utilitzacions legítimes del medi ambient.

En octubre del 2013, la Organització Mundial de la Salut (OMS) va declarar que la contaminació de l'aire pot causar càncer. L'Agència Internacional d'Investigació sobre el Càncer (International Agency for Research on Cancer, IARC) ha classificat la contaminació atmosfèrica en general i el material particulat com a carcinògens per als humans (IARC, 2016).

Actualment a Barcelona ciutat, els contaminants més preocupants són els NO₂, les PM₁₀ i l'O₃ troposfèric, degut a que són els contaminants que als darrers anys han presentat superacions dels límits legiscats. Tot i això, cada vegada hi ha més preocupació per les partícules més fines: PM_{2.5} i PM₁ (degut a que són les que arriben més fàcilment als pulmons), no hi ha suficient històric de dades, especialment per les PM₁ (ultrafines) a la xarxa de vigilància per analitzar la seva evolució amb suficient base estadística.

En general s'ha vist una millora en la qualitat de l'aire de la ciutat als darrers anys, principalment per les millores que sobre els vehicles han aplicat els fabricants amb la incorporació dels filtres de partícules, catalitzadors, noves energies de propulsió, etc... a més d'altres accions legislatives de les administracions públiques i dels efectes de la crisi econòmica del 2007/2008 que va provocar una reducció significativa de la mobilitat en anys posteriors.

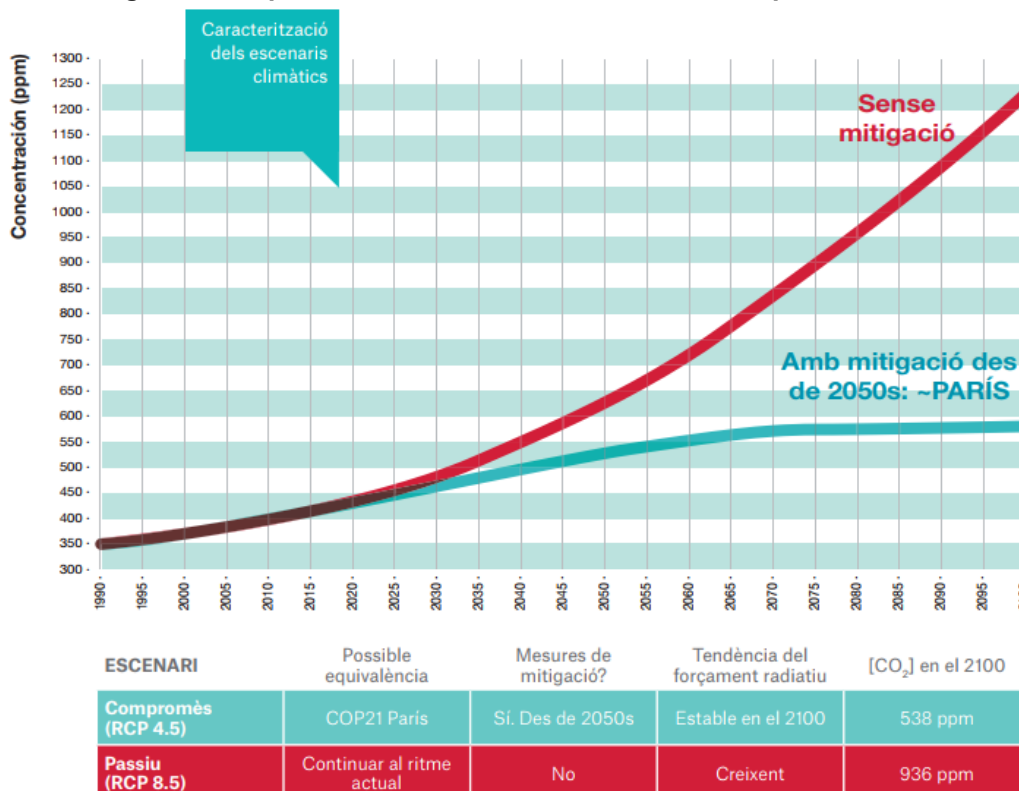
No obstant això, encara hi ha contaminants que superen els límits legiscals (establerts pel R.D. 102/2011), específicament en el cas de la mitjana anual dels NO₂. Per les partícules PM₁₀ encara que actualment es compleix amb els límits legiscals, es troben molt per sobre les recomanacions de la OMS, i respecte a l'ozó als darrers anys s'observa una tendència creixent dels nivells de fons.

En aquest capítol s'han analitzat les dades de qualitat de l'aire de la XVPCA (Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica de Catalunya) pels contaminants NO₂, PM₁₀ i O₃, a les estacions de Barcelona, algunes de l'Àrea Metropolitana de Barcelona i altres de l'entorn. S'han considerat d'una banda les situacions sinòptiques els dies d'alta concentració de contaminants a través de la seva caracterització meteorològica a mesoescala (pel període 2006-2015), i d'altre banda la relació de la concentració de contaminants a l'aire amb les dades meteorològiques en superfície de les estacions de la XEMA (Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques de Catalunya) més properes, aquesta relació s'ha analitzat mitjançant models algorítmics GAM (Generalized Additive Model) pel període 1992-2015.

L'impacte sobre la qualitat de l'aire de Barcelona que pot tenir un possible canvi en el comportament de la meteorologia s'ha analitzat, tal i com es detalla en el *Capítol - Introducció al canvi climàtic*, considerant majoritàriament els escenaris de canvi climàtic del IPCC (2013) següents:

- L'**escenari compromès** (o també RCP4.5) representa el ritme d'emissions si s'assolissin els objectius de l'Acord de París de 2015. L'objectiu d'aquest escenari és que la temperatura global del planeta no superi els 1,5 - 2°C.
- L'**escenari passiu** (o també RCP8.5) Com a més crític, representa la situació en que no s'assoliria cap acord en la reducció de les emissions i per tant continuariem emeten al mateix ritme que actualment. L'augment de temperatura global del planeta superaria àmpliament els 2°C.

Imatge 1: Principals escenaris climàtics analitzats en aquest treball



Font: Ajuntament de Barcelona

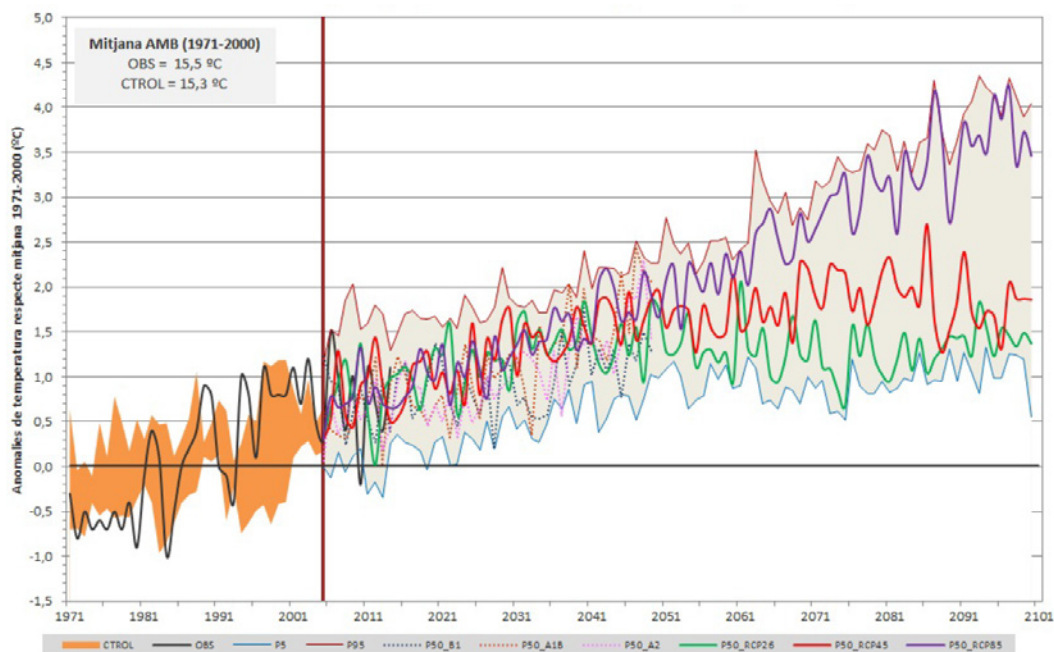
Aquests escenaris estan basats amb les denominades *Trajectòries Representatives de Concentracions* (RCP, de les seves sigles en anglès). Les RCP s'identifiquen pel seu forçament radiatiu total per a l'any 2100, que van des del 2,6 W/m² per a l'escenari més favorable, als 8,5 W/m² per a l'escenari més sever.

	Forçament radiatiu	Tendència del forçament radiatiu	[CO ₂] en el 2100 (b)	Possible equivalència
RCP2.6	2,6 W/m ²	Decreixent en el 2100	421 ppm	Protocol de Kyoto
RCP4.5	4,5 W/m ²	Estable en el 2100	538 ppm	COP21 París
RCP6.0	6,0 W/m ²	Creixent	670 ppm	Adoptant algunes mesures
RCP8.5	8,5 W/m ²	Creixent	936 ppm	Continuar ritme actual

Font IPCC, 2013

Al capítol de Canvi Climàtic es descriu amb detall el seu impacte sobre l'àrea de Barcelona. A la figura següent es mostra l'evolució mitjana de temperatura a l'AMB (1971 – 2010).

Imatge 2: Evolució temporal projectada de la Temperatura Mitjana Anual a l'AMB (1971-2100)



Font: A partir de les dades de: "Escenaris climàtics regionalitzats a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (Projecte ESAMB)". Àrea Metropolitana de Barcelona, Servei Meteorològic de Catalunya i Barcelona Regional (2016)

Cal tenir en compte que tots els anàlisis s'han fet sota la consideració d'inventari d'emissions fix, per tant les millores tecnològiques o d'altre tipus que facin reduir les emissions de contaminants a la ciutat i que puguin succeir en les properes dècades no han estat tingudes en compte ja que no s'han pogut quantificar.

2. ANÀLISI I DIAGNOSI

2.1. La qualitat de l'aire a Barcelona

2.2. Antecedents

2.3. Característiques i dinàmica dels principals contaminants

2.4. Anàlisi de les situacions sinòptiques

2.5. Anàlisi dels efectes de la meteorologia local sobre la qualitat de l'aire



2.1. LA QUALITAT DE L'AIRE A BARCELONA

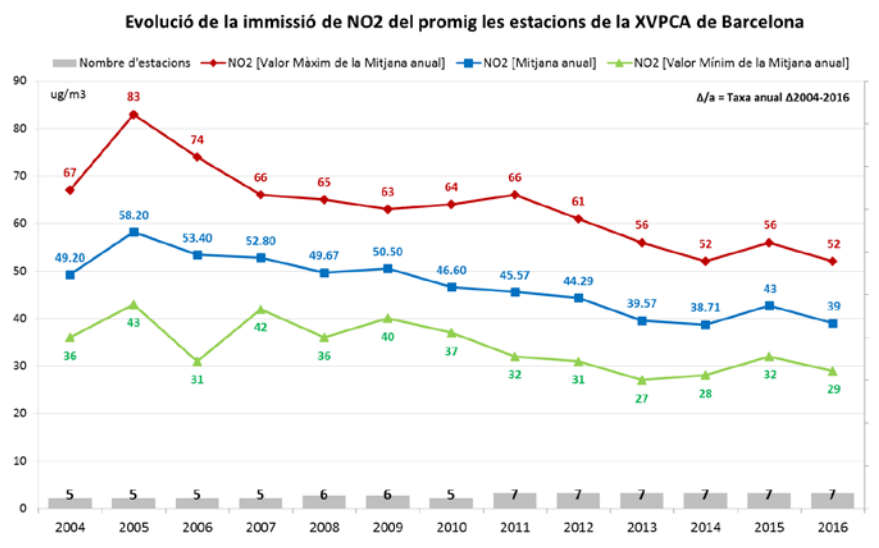
Tot i que als darrers anys a Barcelona s'ha vist una millora en la qualitat de l'aire, el contaminant més preocupant és el NO₂. Aquest, des de fa anys supera la mitjana anual dels 40 µg/m³, valor límit del R.D. 102/2011 a llarg termini, el qual coincideix amb el valor guia de la mitjana anual de l'OMS.

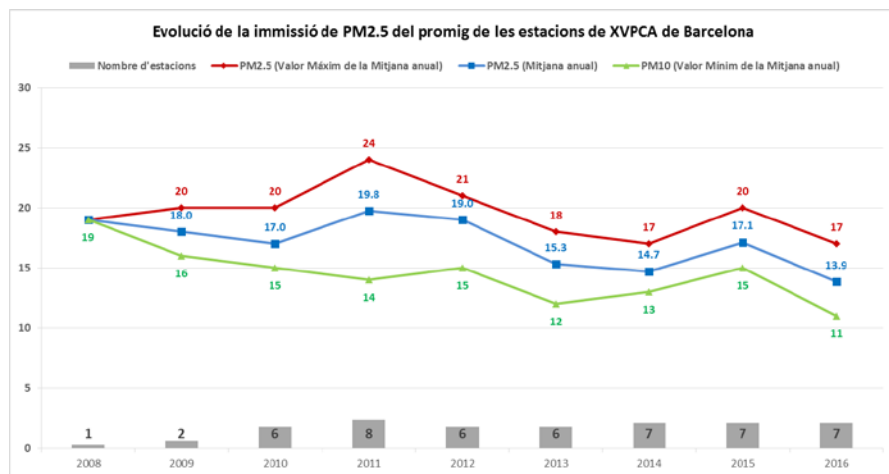
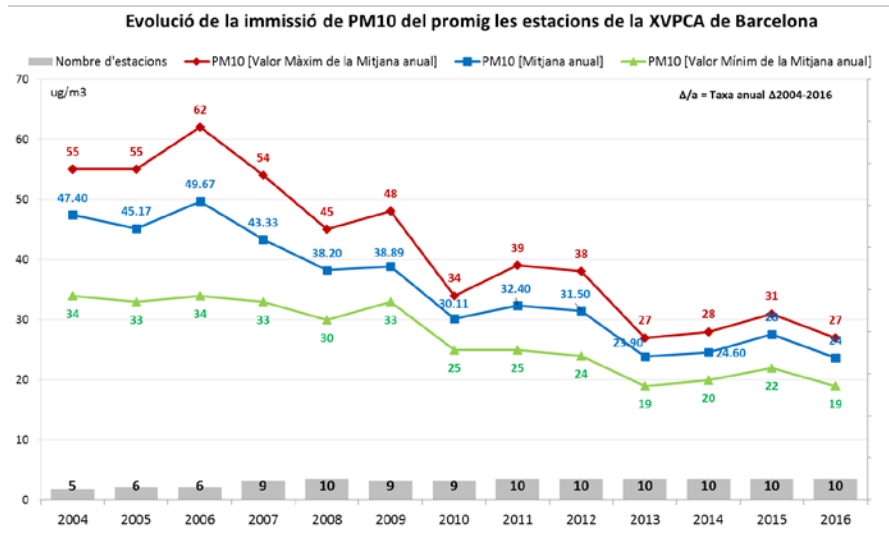
Respecte a les partícules menors de 10 micres (PM₁₀), s'ha observat un descens de la seva concentració als darrers anys (límit mitja anual de 40 µg/m³, segons el R.D. 102/2011), però fins fa poc hi havien superacions, no obstant encara es superen els valors recomanats per la OMS (límit mitja anual de 20 µg/m³) que fixa valors límit molt més restrictius que la normativa europea, a més té una important variabilitat interanual que fa que la vigilància continuï.

En quant a les partícules de PM_{2.5} (partícules menors de 2.5 micres) es disposen dades a Barcelona des de l'any 2005 (una única estació manual). L'any 2010 es va ampliar la xarxa a 6 estacions (5 manuals i 1 automàtica), però encara no hi ha suficient volum de dades per analitzar la relació d'aquest contaminant amb el canvi climàtic tal com s'ha pogut fer amb d'altres contaminants. Tot i això cal matisar que per una banda, no s'ha superat mai el lílindar en mitja anual de 25 µg/m³ del R.D. 102/2011, però per altra banda sí que ho ha fet considerant el nivell segons l'OMS de 10 µg/m³.

A la figura següent es mostra l'evolució de la mitjana anual per aquests contaminants.

Imatge 3: Evolució de la immissió mitjana anual a les estacions de la XVPCA de Barcelona del NO₂, PM₁₀ i PM_{2.5}

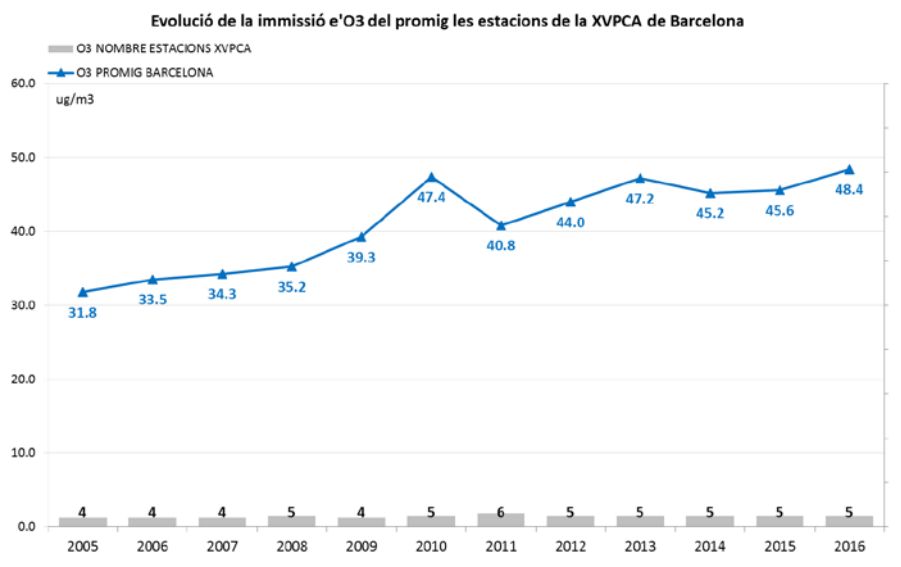




Font: Barcelona Regional amb dades de la XVPCA. En vermell els valors màxims, en blau mitjanes, en verd valors mínims. En gris el nombre de estacions de la xarxa.

Per l'ozó, encara que no té valors límit anuals, s'observa una tendència a l'increment de la concentració mitjana anual i es troba també en vigilància. A la figura següent es mostra l'evolució de la mitjana anual per aquest contaminant.

Imatge 4: Evolució de la immissió mitjana anual a les estacions de la XVPCA de Barcelona de l'O₃.



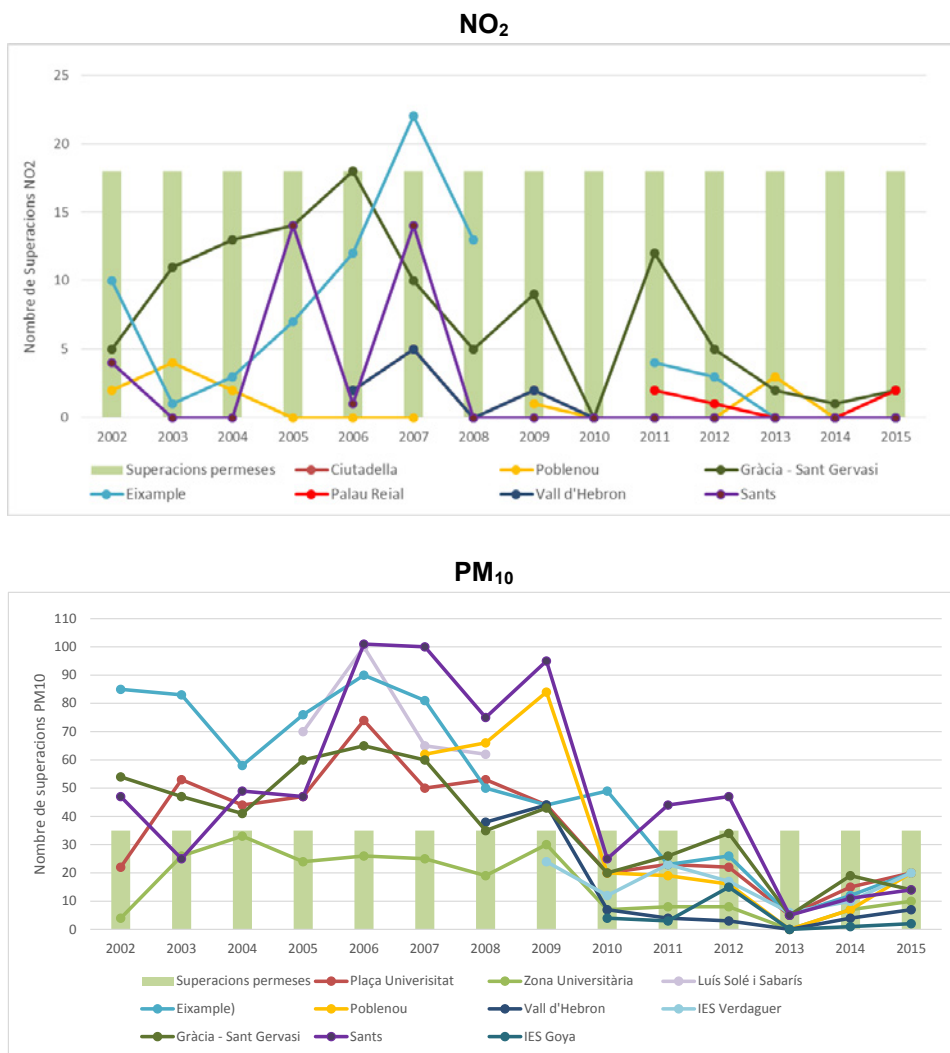
Font: Barcelona Regional amb dades de la XVPCA. En gris el nombre de estacions del xarxa.

En el cas dels *límits a curt termini* fixats pel R.D. 102/2011 (18 superacions del límit horari de 200 µg/m³ permeses per NO₂ i 35 superacions de límit diari de 50 µg/m³ per als PM₁₀) encara que cap d'aquests contaminants sobrepassa el nombre de superacions permeses anualment, la seva variació és molt irregular i es continuen presentant superacions episòdiques d'aquests límits.

Segons l'OMS el líndiar horari per NO₂ és de 200 µg/m³ i el diari per PM₁₀ i PM_{2.5} és de 50 i 25 µg/m³ respectivament, no obstant això no hi ha establert un nombre de superacions permeses com és el cas de la normativa europea.

A la figura següent és mostra l'evolució de nombre de superacions episòdiques per als NO₂ i les partícules (PM₁₀) a les estacions de la XVPCA a l'àrea de Barcelona.

Imatge 5: Evolució del nombre de superacions episòdiques a les estacions de la XVPCA de Barcelona (NO₂ dalt i PM₁₀ baix).



Font: Barcelona Regional amb dades de la XVPCA. Amb la barra verd s'indica el nombre de superacions permeses.

Respecte l'ozó, segons el R.D. 102/2011, el llindar d'alerta a la població és de 240 µg/m³ horari i el d'informació de 180 µg/m³ horari. A Barcelona no s'ha superat el llindar d'alerta, però la darrera superació del llindar d'informació va ser a la estació de Ciutadella (06/06/2015). L'OMS té com llindar el valor de 100 µg/m³ en mitjana 8-horària (mitjana mòbil d'una sèrie temporal que es calcula, per cada hora, amb la mitjana simple dels valors de les últimes 8 hores).

2.2. ANTECEDENTS

La contaminació atmosfèrica i la meteorologia estan estretament relacionades, ja que a l'atmosfera tenen lloc una sèrie de processos físics i químics que interactuen en la generació, transformació i transport dels contaminants atmosfèrics.

Per exemple, les altes pressions atmosfèriques dificulten la dispersió dels contaminants, ja que en situacions d'estabilitat atmosfèrica degudes a condicions anticiclòniques (altes pressions), s'obstaculitza el moviment vertical i horitzontal de l'atmosfera i es genera absència de vent i per tant de la dispersió. En aquestes situacions es presenten la majoria dels episodis de contaminació.

No obstant, el vent que es troba condicionat per la ubicació dels centres de pressió atmosfèrica, a la vegada pot contribuir al transport de contaminants des d'altres regions, como succeeix amb la pols d'origen Saharià i amb l'ozó, que combinat amb situacions anticiclòniques, pot generar episodis de contaminació.

Així mateix, la radiació solar en condicions adequades de temperatura i humitat, a la primavera i l'estiu, afavoreix la producció dels contaminants secundaris, entre els quals destaquen l'ozó i les fraccions fines de partícules (sulfats i nitrats).

La humitat relativa incideix de forma negativa a la generació d'ozó troposfèric, però de forma positiva en la producció de partícules, especialment la part fina ($PM_{2.5}$ i PM_1) degut a que afavoreix la formació de SO_4 i NO_3 i la formació de nuclis de condensació per la seva aglomeració.

D'altre banda i d'acord amb l'IPCC (2013) els canvis deguts al canvi climàtic de les principals variables meteorològiques no seran homogènies al voltant del planeta, per exemple a més de l'increment generalitzat de la temperatura, la precipitació s'incrementarà al nord d'Europa i dels Estats Units però decreixerà en el sud d'aquests. En el nord d'Àsia també s'incrementarà però decreixerà a l'Orient Mitjà o que la humitat específica s'incrementarà degut a l'increment de l'evaporació dels oceans, mentre que la humitat relativa mitjana global no s'espera que tingui un canvi significatiu (Held and Soden, 2000), però sí una important variació regional.

Aquestes variacions, per esmentar només algunes, incideixen sobre la humitat, la nuvolositat i la convecció humida, la qual cosa tindria efectes en la qualitat de l'aire, com ho senyalen Folker & Knoche (2006) i Meleux (2006) que destaquen la reducció de la nuvolositat al sud d'Europa a l'estiu com un important factor de formació d'ozó.

Així mateix Wu et al., (2008) indica que les variables més importants que afecten l'ozó a escala global són l'intercanvi que hi ha entre estratosfera-troposfera, els llamps, la concentració d' NO_x i el vapor d'aigua els quals s'incrementaran en el clima futur, les dues primeres faran que l'ozó augmenti, mentre que la darrera farà que decreixi.

Jacobs (2009) fa una recopilació d'estudis sobre models GCM-CTM (Chemical Transport Models - General Circulation Models), models globals de transport químic acoblats amb models de canvi climàtic, la majoria dels quals indiquen un increment de l'ozó a l'hemisferi nord a latituds mitjanes d'entre 2 i $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i un canvi de concentració de les partícules d'entre $\pm 0,1$ i $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bàsicament degut als sulfats.

Jiménez-Guerrero et al., (2012) analitza per la península Ibèrica l'efecte del canvi climàtic a 25 km de resolució per l'escenari IPCC (2010) SRES A2 i el període 2071-2100 (aquest escenari equival a una concentració de CO₂ de 836 ppm a 2100). Aquest estudi indica un increment de la concentració a la zona de Barcelona per l'ozó, de l'orde de 2-4 µg/m³ de mitjana anual, un increment d'entre 1 i 1,5 µg/m³ de les partícules i un increment en mitja anual de la concentració d'NO₂, al voltant dels 2 µg/m³.

També hi ha alguns estudis que modelitzant la dispersió dels contaminants, amb el canvi previst de les principals variables meteorològiques en àmbits locals a través de modelització de la dispersió, com es el cas de Londres i Stockholm (Carruthers et al., 2005 i Gidhagen et al., 2012).

A més existeixen estudis que utilitzen els models GAM (Models Additius Generalitzats), per analitzar la contribució estadística dels diferents variables atmosfèriques amb la variació de la concentració dels contaminants, com es el cas de Pearce et al., (2011) que analitza amb aquesta metodologia l'efecte del canvi climàtic per Melbourne, Barmpadimos et al.,(2011) la aplica per analitzar la influència de la meteorologia a les PM₁₀ per a Suïssa, i Belusic et al., (2015), que analitza la influència de la meteorologia local sobre la qualitat de l'aire a Zagreb.

2.3. CARACTERISTIQUES I DINÀMICA DELS PRINCIPALS CONTAMINANTS

A continuació es descriuen breument les principals característiques dels contaminants que afecten actualment la qualitat de l'aire a Barcelona i de la seva dinàmica per entendre com el canvi climàtic pot incidir-hi.

2.3.1. PARTÍCULES – PM₁₀ I PM_{2.5}

Les partícules són una barreja complexa de partícules sòlides i líquides formada per un conjunt de molècules de la mateixa substància o diferents. Es classifiquen segons el seu diàmetre aerodinàmic: PM₁₀ (diàmetres inferiors a 10 micres), PM_{2.5} (diàmetres inferiors a 2.5 micres) i PM₁ (diàmetres inferiors a 1 micra). Les partícules poden tenir origen natural o antropogènic i a la vegada tenir origen primari (directament des de la font d'emissions) i secundari (productes de reaccions fotoquímiques).

Les partícules inclouen com a components principals els sulfats, nitrats, carbó orgànic, carbó elemental, pols del sòl i sals marines. Els quatre primers són els principals components de les partícules fines (menors a 2.5 µm) i es produeixen per oxidació fotoquímica del SO₂, els NO_x i els NMCOVs. Les partícules de carbó també són emeses directament a la combustió. La fracció de pols i sals marines depenen del transport regional i contribueixen de manera important als nivells de fons.

Les partícules primàries com ara els fums negres o l'aerosol marí, reaccionen amb productes com ara el H₂SO₄ (produït per l'oxidació del SO₂) formant noves partícules més complexes. L'oxidació de NO_x a nitrat es produeix a través de la producció de HNO₃ que requereix la presència de NH₃ o d'altres compostos alcalins per a formar sals com el NH₄NO₃.

Les partícules són remogudes de l'atmosfera per la precipitació, que és el seu principal embornal. El temps de vida pot ser des de pocs dies fins a setmanes. El transport de les partícules depèn molt de la naturalesa de la font, ja que en el cas d'incendis forestals i tempestes de pols, pot assolir escales hemisfèriques.

La dinàmica de la partícules a Barcelona es complexa, ja que té diferents orígens, d'una banda hi ha una part de contribució de fonts - d'origen antròpic (tràfic de vehicles, port, indústria, obres, etc.) i altres d'origen natural (pols saharià, aerosols marins, incendis forestals, etc). A més hi ha una fracció d'origen secundari degut a la activitat fotoquímica, especialment als mesos de primavera i estiu, que majoritàriament forma part dels aerosols secundaris inorgànics (fraccions de sulfats i nitrats).

L'annex 6.1.1 es fa una descripció de las característiques de les partícules a l'àrea de Barcelona, respecte a la composició i a la dinàmica. A més s'analitzen els principals mecanismes de generació de les intrusions de pols saharià, que és un dels principals responsables de les situacions episòdiques a la ciutat de Barcelona.

En el cas de les partícules de PM_{2.5}, no s'han inclòs dins l'estudi degut a que només es disposa de dades històriques de 5 anys, i per tant no es pot considerar representatiu des del punt de vista climàtic.

2.3.2. OZÓ TROPOSFÈRIC - O₃

L'ozó és un gas incolor, invisible i d'olor agradable que té un gran poder oxidant. Aquest ozó es troba a les capes baixes de l'atmosfera i es considera un contaminant, habitualment es denomina ozó troposfèric per diferenciar-lo del de la capa d'ozó.

L'ozó troposfèric és un contaminant secundari produït en la troposfera per l'oxidació fotoquímica, especialment del NO i els compostos orgànics volàtils no-metà (NMVOCs) pel radical hidroxil (OH). El radical OH s'origina principalment per l'oxidació atmosfèrica de vapor d'aigua en l'atmosfera amb altres radicals d'òxid d'hidrogen (HO_x).

El principal embornal per l'ozó troposfèric és la fotòlisis en presència de vapor d'aigua i la absorció per vegetació (deposició seca). El temps de vida de l'ozó troposfèric és de pocs dies dintre de la capa de mescla, fins setmanes a la troposfera lliure i pot ser transportat des de la font continental fins a escales hemisfèriques i inclús globals.

La dinàmica de l'ozó és també complexa ja que té una important variabilitat, tant espacial com temporal (anual i diària). En aquest sentit, i com es mostra a l'annex 6.1.2, Barcelona exporta alguns dels principals precursors per la formació de l'ozó (NO_x i NMCOVs), que en condicions apropiades de radiació solar i temperatura reacciona a sotavent de la ciutat per produir ozó. Aquesta dinàmica depèn del cicle dia-nit, durant el dia aquesta massa fotoquímicament activa, es transporta des de les fonts d'emissions, cap a terra endins, però durant la nit es mou en sentit contrari i es consumeix en l'àmbit urbà, mentre la resta es concentra sobre el mar Mediterrani, el qual actua com reservori i al dia següent torna a començar el cicle.

Quan hi ha condicions anticiclòniques persistents durant diversos dies amb cels clars i altes temperatures, es produeix l'acumulació regional d'aquesta massa rica en ozó, i a més pot rebre contribució des d'altres regions e incrementar els nivells de fons, com es mostra en el mateix annex. Les situacions d'alta concentració d'ozó a l'àrea de Barcelona es presenten quan aquesta massa rica en ozó és introduïda a la ciutat per les brises marines.

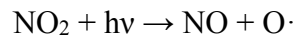
2.3.3. DIÒXID DE NITROGEN - NO₂

El NO₂ pertany a la família dels NO_x els quals són compostos formats per reacció del nitrogen (N₂) amb l'oxigen (O₂). Entre ells es troben El N₂O, NO, N₂O₂, N₂O₃, NO₂, N₂O₄, N₂O₅. D'aquets, el N₂O, l'NO, i el NO₂ són els òxids de nitrogen més abundants en l'aire. El NO₂ és un gas de color marró vermellós, soluble en aigua, amb olor forta i amb un caràcter oxidant fort.

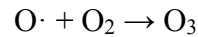
Les emissions de NO_x provenen principalment de la combustió, tant de tipus mòbil (trànsit terrestre, aeri i marítim) com de tipus estacionari (industrials). La quantitat de NO_x i la proporció de NO₂ i NO emesos depèn del tipus de combustible i les condicions de la combustió.

El NO_x és un contaminant principalment d'origen antròpic, per la qual cosa els seus majors nivells de concentració es troben prop de les fonts d'emissió. Aquestes emissions són majoritàriament en forma de NO les quals durant el dia s'oxiden en qüestió d'hores a NO₂ per mitjà de radicals provinents de la reacció fotoquímica amb els COVs.

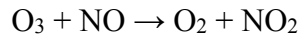
Durant el dia el diòxid de nitrogen es dissocia en monòxid de nitrogen i radicals oxigen:



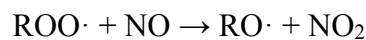
El $\text{O}\cdot$ es combina amb oxigen molecular generant ozó:



En absència de COVs aquest ozó oxida el monòxid de nitrogen de l'etapa anterior:



Però en presència de COVs, aquests es transformen en radicals peroxi que al seu torn s'oxiden al NO



En aquest sentit, el NO_2 pot ser emès directament o produït a partir de l'oxidació del NO. Quan el NO_2 reacciona amb un fotó de llum per fer que l' O_2 es torni O_3 , el NO_2 es transforma en NO i posteriorment es transforma a NO_2 i al dia següent torna a començar.

En aquest sentit, per Barcelona ciutat i la seva conurbació, la principal font de NO_x és el tràfic de vehicles. La fracció de NO_2 que prové del tràfic s'ha vist incrementada als últims anys, especialment pel predomini dels vehicles dièsel. Aquestes emissions són generalment exportades de la ciutat pel vent, no obstant en situacions d'estabilitat atmosfèrica, es concentren a l'àrea de Barcelona.

Les situacions episòdiques a Barcelona es troben associades a condicions anticiclòniques intenses i persistents, que a la vegada poden produir inversions tèrmiques, la qual cosa fa que siguin molt estables. L'annex 6.3.3, es descriuen les principals característiques de les inversions tèrmiques.

2.4. ANÀLISIS DE LES SITUACIONS SINÒPTIQUES

En aquest capítol, per cadascun dels contaminants: partícules (PM₁₀), ozó i diòxid de nitrogen: primer es mostren els resultats de la identificació dels dies “d’alta concentració” a l’àrea de Barcelona, al llarg del període 2006-2015. Posteriorment es mostra la classificació per patrons comuns d’aquest dies, segons les seves principals característiques sinòptiques, per la qual cosa s’han utilitzat dades de re-anàlisis del model meteorològic global del projecte: 20th Century Reanalysis v2 - 20CRv2 (Campos, et.,al, 2011 & NOAA, 2017).

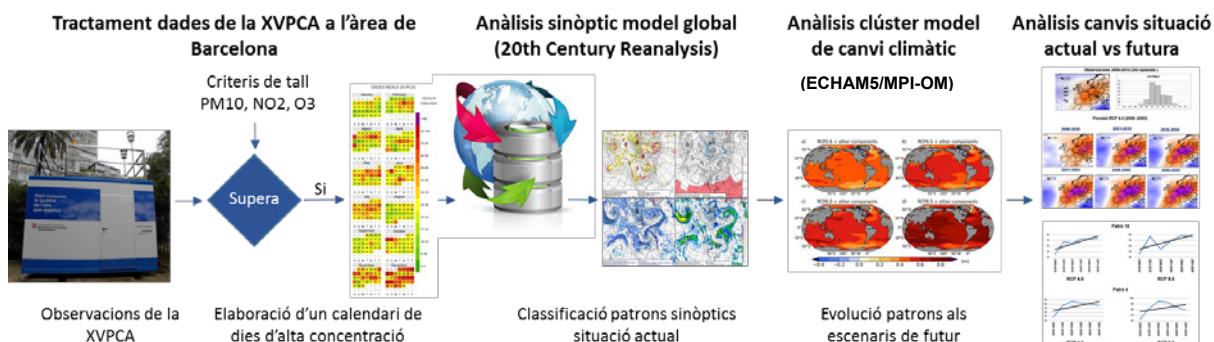
Després s’analitzen com aquestes patrons podrien canviar segons les previsions dels escenaris de canvi climàtic IPCC (2013) RCP 4.5 i RCP 8.5, a partir de un model de circulació climàtic general (MCCG) del Max Planck Intitut (Max Planck Institute for Meteorology, 2017).

Per tant, i segons la nomenclatura definida per al conjunt de *l’Estudi dels Impactes del Canvi Climàtic a Barcelona*, en aquest capítol s’estima el **perill** de variació dels patrons sinòptics que estan relacionats amb dies “d’alta concentració” de contaminants. A mode de recordatori, presentem la nomenclatura establerta al *Capítol – Introducció al canvi climàtic*:

- **Perill** es pot definir com la freqüència i intensitat (o magnitud) amb la que un determinat fenomen natural o antròpic impacta en un espai determinat.
- Per **vulnerabilitat**, s’entén la predisposició intrínseca d’un sistema (subjecte, grup, element físic, ecosistema, etc.) a ser afectat per un perill.
- **Risc** és la resultant de considerar el perill i la vulnerabilitat, valorant com cada sistema es veu afectat per un perill determinat.

A la figura següent es presenta un resum esquemàtic de la metodologia utilitzada.

Imatge 6. Resum esquemàtic de la metodologia utilitzada



Font: Barcelona Regional

En aquest sentit, en primer lloc s’han tractat les dades de la XVPCA, per determinar els *dies d’alta concentració -no confondre amb episodi de contaminació que pot o no succeir en aquell moment i que fa referència a la superació dels límits legals- d’O₃, PM₁₀ i NO₂*.

Pel tractament de les dades s’han identificat els dies en els que es van a superar els valors de tall (mostrats a la taula següent) en almenys dues estacions i que aquesta superació tingui una durada de com a mínim dos dies consecutius. A la Taula 1 es mostren els valors de tall considerats pels períodes horari, 8-horari i diari, segons el contaminat; junt amb els límits legals del R.D. 102/2011.

Taula 1: Resum dels valors de tall per la secció dels episodis d'estudi i els límits legals ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Valor de tall pels episodis d'estudi*			Límit legal (RD 102/2011)			Valor Guia OMS		
	Horari	8 horari	24 hores	límit (h)	límit (8h)	límit (24h)	Horari	8 horari	24 h
O₃	180	120	-	180 (avís)	120	-		100	
PM₁₀	-	-	40	-	-	50			50
NO₂	140	-	-	200	-	-	200		

*Per considerar episodi d'estudi aquesta superació ha de tenir una durada de almenys dos dies consecutius, en al menys dues estacions.

A la taula anterior es pot observar, que els valors de tall l'estudi, per NO₂ i PM₁₀ són més baixos que els límits legals, *ja que es volia identificar els dies amb concentració alta respecte una situació atmosfèrica normal, però no necessàriament amb superació dels límits legals*. L'annex 6.2 mostra els dies identificats per contaminant amb la classificació per patró sinòptic.

Amb aquest dies "d'alta concentració" es va a crear un calendari per contaminant, que s'ha utilitzat per seleccionar aquests dies a la base de dades del model global 20CRv2 i es van extreure les dades per un domini a escala europea [30°N, 70 °N; 30 °W, 30 °E], a partir de tres nivells atmosfèrics: la pressió en superfície reduïda a nivell del mar (hPa, SLP), la temperatura al geopotencial de 850 hPa (°C, T850) i l'altura geopotencial a 500 hPa (metres, Z500). Aquestes dades, s'han tractat amb tècniques multivariable i s'han classificat per tipus de contaminant en patrons comuns.

Posteriorment amb els patrons sinòptics tipus per cada contaminant, s'ha fet un anàlisi clúster basat en els components principals, utilitzant les dades d'un model de circulació climàtic general (MCCG). Una vegada es va calibrar el model pel període actual, s'ha analitzat com aquests patrons podrien variar en els escenaris de canvi climàtic IPCC (2013) RCP 4.5 i RCP 8.5, en períodes de 15 anys.

El MCCG utilitzat ha estat l'ECHAM5/MPI-OM, ja que del conjunt de simulacions globals desenvolupades a l'IPCC-AR4 és un dels models que reproduïx millor el clima actual a Europa i l'Atlàntic nord sota els forçaments radiatius coneguts i, en especial, a la zona mediterrània.

Finalment es van analitzar aquest resultat i es va quantificar el seu canvi. Al annex 6.2 es mostra la metodologia utilitzada pel SMC, per aquest anàlisi.

Als apartats següents es mostren les principals resultats d'aquest anàlisi, per cadascun dels contaminants analitzats. S'ha de tenir en compte que com cadascun dels contaminants té un nombre de patrons diferents i el seu pes en el total pot variar, es presenta la informació més rellevant en cada cas i per tant el nombre de patrons analitzats per cada contaminant pot ser diferent.

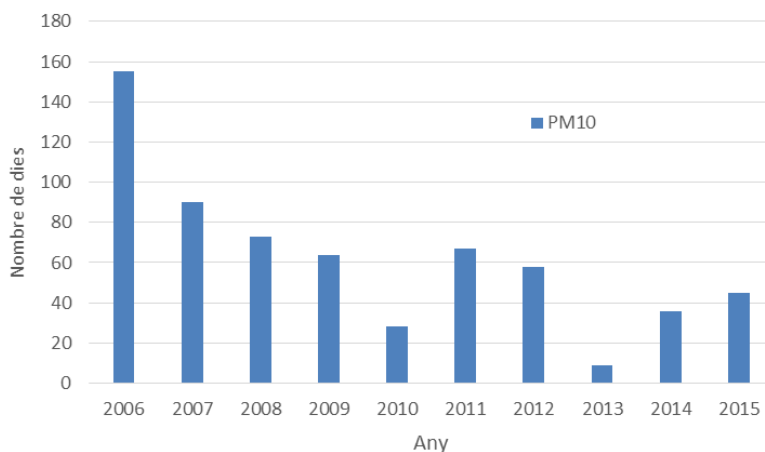
2.4.1. SITUACIONS SINÒPTIQUES PM₁₀

2.4.1.1. Identificació de les situacions sinòptiques

Per la identificació de les situacions sinòptiques en relació al contaminant PM₁₀ s'han analitzat les estacions de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, que van superar els valors de tall per PM₁₀, a la Taula 1: Eixample, Gràcia, Palau Reial, Poblenou, Sants, Vall d'Hebron, Hospitalet de Llobregat (Torrent), Montcada i Reixac, Sant Adrià del Besòs (Canal Olímpic) i Sant Vicenç dels Horts (Ribot Sant Miguel) al període 2006 – 2015.

Per aquestes estacions s'han identificat 625 dies “d'alta concentració”, la qual cosa suposa un 16% de dies, respecte al total dels dies del període (2006-2015). A la figura es mostra el nombre de dies identificats per any en relació a les PM₁₀.

Imatge 7: Nombre de dies “d'alta concentració” al període (2006-2015) per partícules PM₁₀



Font: Barcelona Regional amb dades de la XVCPA

S'observa a la darrera figura que l'any 2006, que presenta el major nombre dies “d'alta concentració”, a més es pot veure una tendència decreixent del nombre de dies segons avancen els anys, la qual cosa té relació amb unes condicions meteorològiques més favorables per la dispersió dels contaminants entre el període (2008-2012) respecte al (2001-2007), segons l'informe del MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2013).

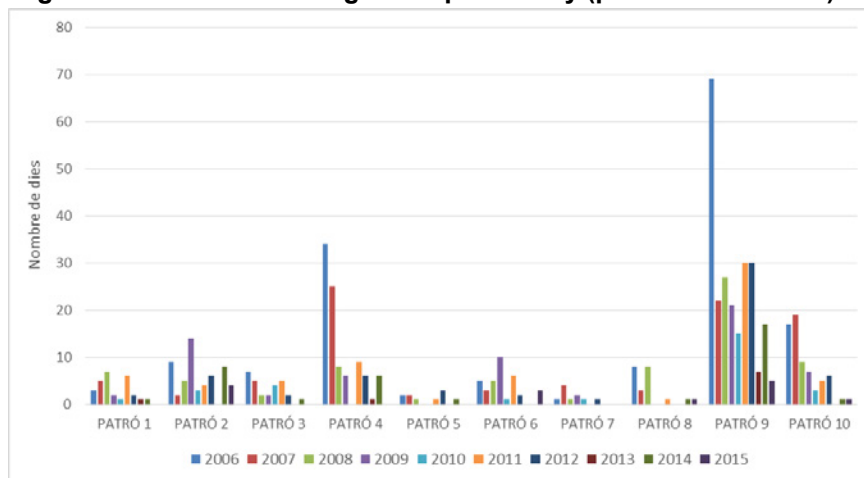
2.4.1.2. Caracterització de les situacions sinòptiques

Una vegada identificats els dies d'alta concentració de PM₁₀, a partir de les dades del model global 20CRv2, s'ha obtingut un conjunt de 10 patrons comuns per 594 dels 625 dies identificats. A la taula i figura següents es mostra el nombre de dies per cadascun dels patrons.

Taula 2: : Nombre de dies segons el patró per les PM₁₀ (període 2006-2015)

Patró	Nombre	Percentatge
Patró 1	28	4.7%
Patró 2	55	9.3%
Patró 3	28	4.7%
Patró 4	95	16.0%
Patró 5	10	1.7%
Patró 6	35	5.9%
Patró 7	10	1.7%
Patró 8	22	3.7%
Patró 9	243	40.9%
Patró 10	68	11.4%
Total	594	100%

Font: SMC

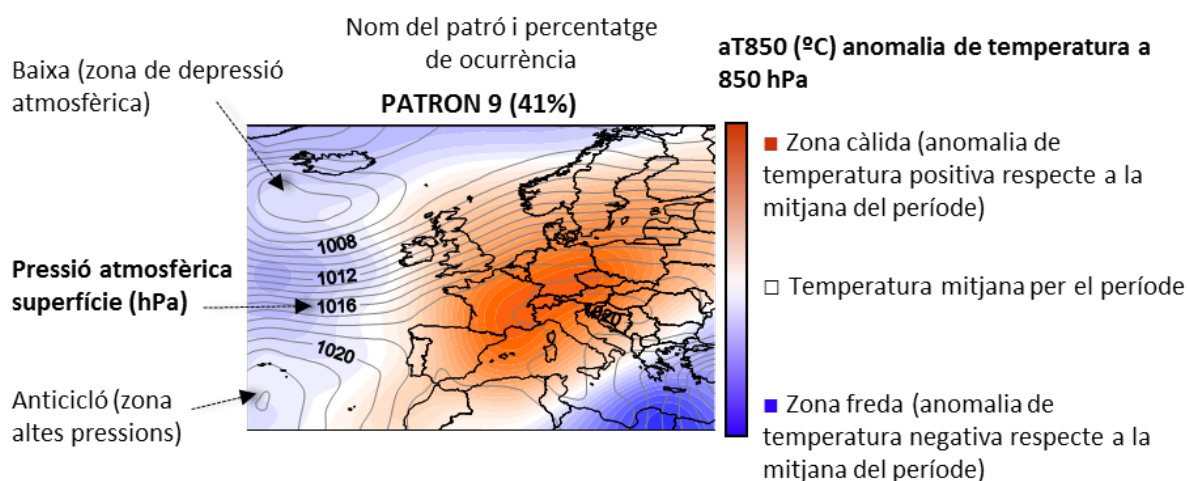
Imatge 8: Nombre de dies segons el patró i any (període 2006-2015) PM₁₀

Font: SMC i Barcelona Regional

Com es pot veure a les dades anteriors, el patró 9 destaca amb un 41% dels dies, seguit dels patrons 4(16%), 10(11,4%) i 2(9,3%).

Aquestes patrons s'han caracteritzat en funció de dues de les seves variables principals: la pressió en superfície (hPa) i les anomalies de temperatura a 850 hPa (°C), respecte a la mitjana climàtica del període analitzat.

A continuació es mostra un exemple de la informació continguda en els mapes, on es recull les principals característiques per cadascun dels patrons. Aquesta descripció també és vàlida per la resta de mapes presents al document.

Imatge 9: Exemple de la informació continguda en els mapes de caracterització sinòptica

Font: SMC i Barcelona Regional

Al mapa s'assenyalen alguns fenòmens relacionats amb el comportament d'aquestes variables, com: l'anticicló (zona d'altres pressions), la baixa (zona de baixes pressions), les

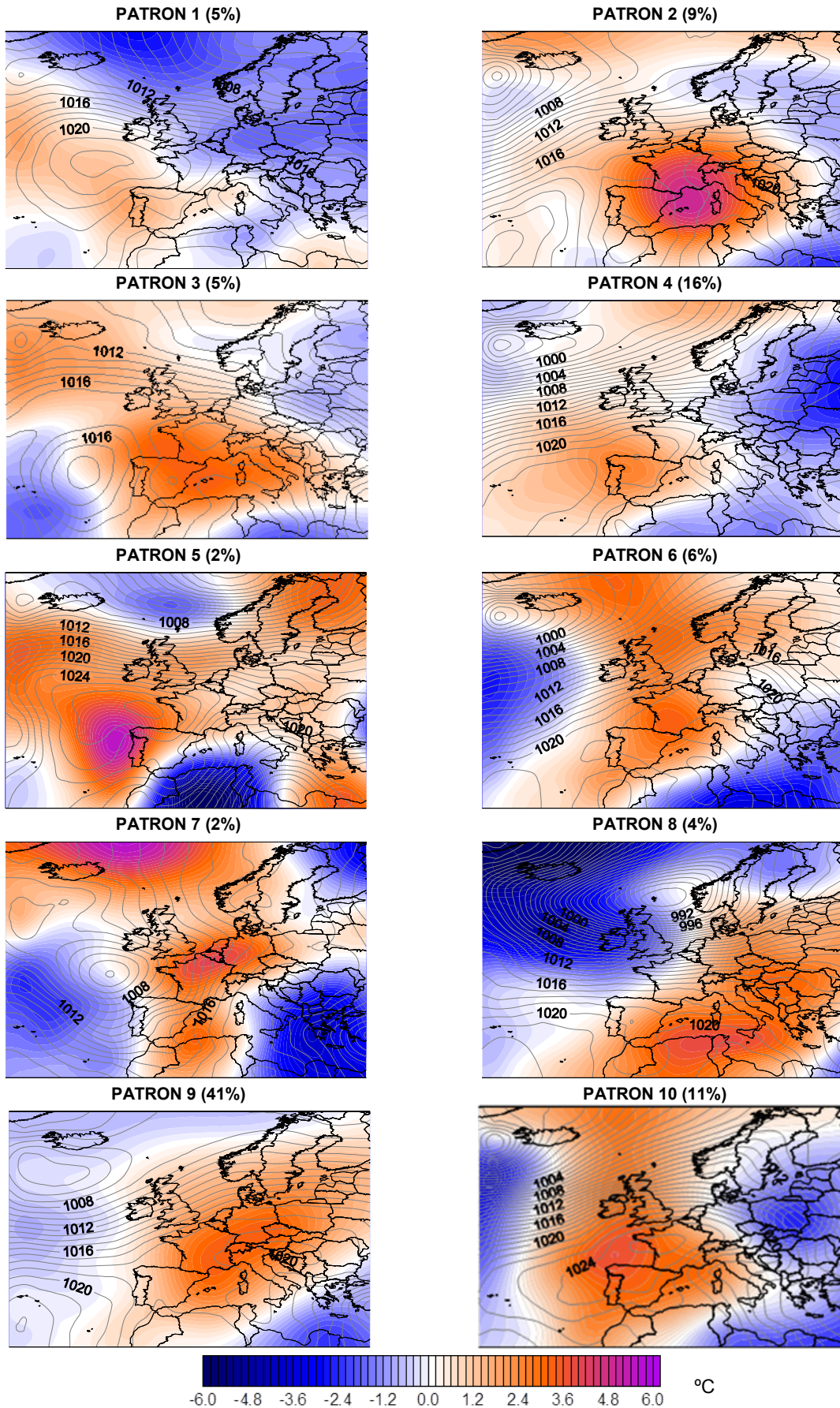
zones càlides (anomalies positives respecte a la mitjana del període) i fredes (anomalies negatives respecte a la mitjana del període), que segons la seva localització, extensió e intensitat determinen el tipus de patró i condicionen la seva influència.

El terme anomalia de temperatura, fa referència a l'allunyament d'un valor de referència o de la mitjana a llarg termini. Una anomalia positiva indica que la temperatura observada era més alta que el valor de referència, mentre que una anomalia negativa indica que la temperatura observada va ser més freda que valor de referència.

La distribució de cadascun d'aquests patrons varia al llarg de l'any, per exemple a l'hivern el patró més freqüent es el patró 4, seguit del patró 10. A la primavera es presenten tots els tipus de patrons especialment els patrons 10 i 2, però també el 3, 4, 5, 6 i 8; a l'estiu predomina el patró 9, que s'estén als últims mesos de la primavera i principis de la tardor. A la tardor predomina el patró 4 i 2, encara que també tenen lloc els patrons 9,10 i en menor freqüència els patrons 1, 3, 6, i 7.

A continuació es presenten les característiques per cadascun dels principals patrons:

Imatge 10: Classificació sinòptica per el PM₁₀ a l'àrea de Barcelona (2006-2015)
Pressió atmosfèrica (hPa) línies i aT850 (°C) fons



Font: SMC

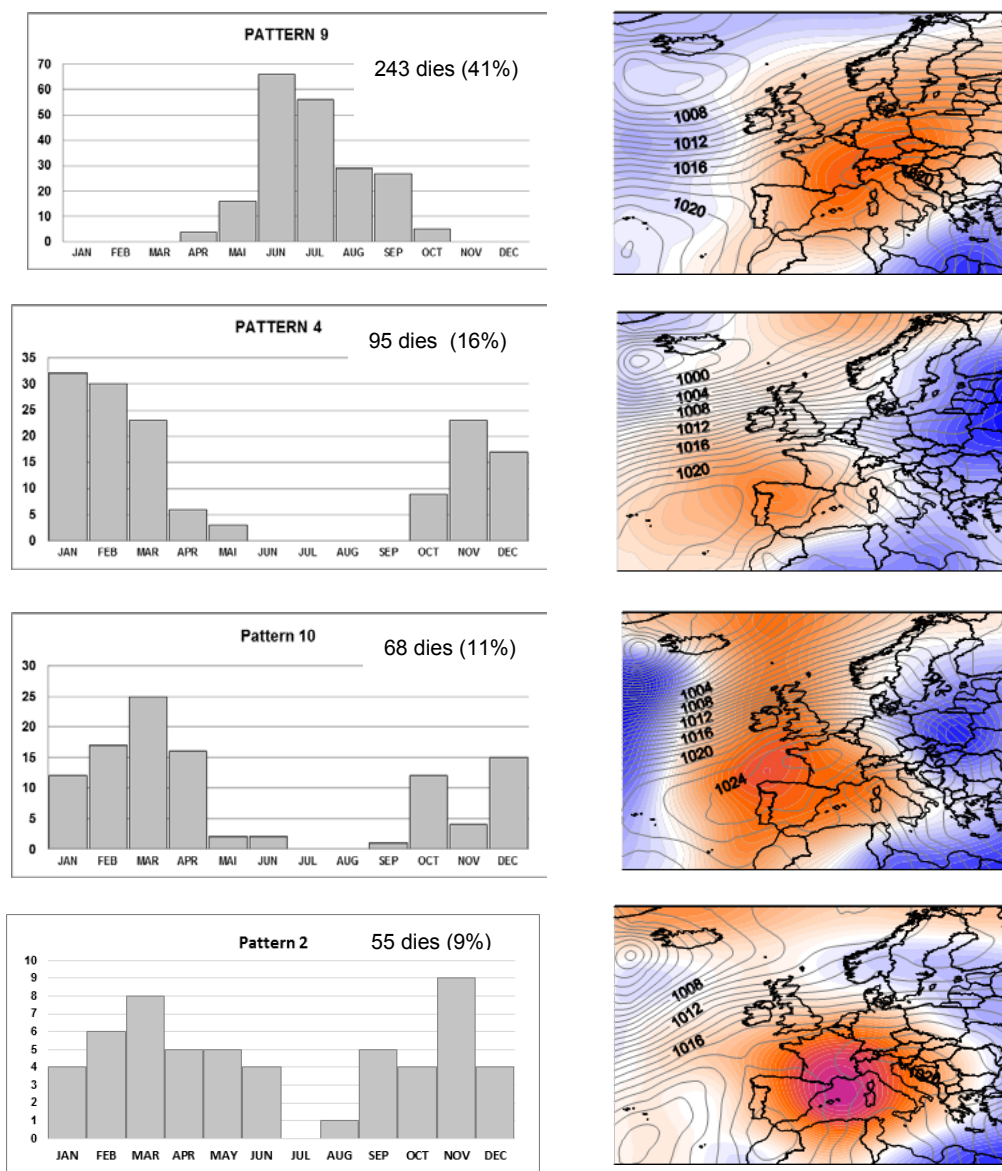
Als mapes es pot observar que en general les zones càlides (anomalies de temperatura positiva aT850) es localitzen sobre la península, França i al mar Mediterrani occidental, les quals, en la seva majoria, estan comunicades amb el nord d'Àfrica, la qual cosa es troba relacionat amb el recorregut que segueixen les masses d'aire Africà dies abans (normalment entre 2 i 10 dies).

D'altre banda, es pot veure que les zones d'altres pressions (anticicló), a la majoria de patrons es localitzen sobre les illes Açores, encara que en alguns patrons es troben una mica més al nord, però en general sobre l'oceà Atlàntic i prop a la costa peninsular. Dintre d'aquests, els dos més comuns són els 9 i 4 que presenten una situació d'estabilitat forta i que estan representats als mapes amb pràcticament absència de canvis de pressió sobre la península.

2.4.1.3. Distribució temporal dels principals patrons

D'aquests patrons els més freqüents són els patrons 9 (41%), 4 (16%), 10 (11%) i 2 (9,3%) que sumen un 77,6% del total de les situacions sinòptiques analitzades, el que suposa 461 dies, del període establert de 10 anys, que, representa de mitjana prop de 46 dies de l'any (un 13%).

En aquest sentit i degut a que un reduït nombre de patrons concentra la major part dels episodis, l'anàlisi es centra en els principals patrons. A la figura següent es mostra la distribució anual d'aquests patrons.

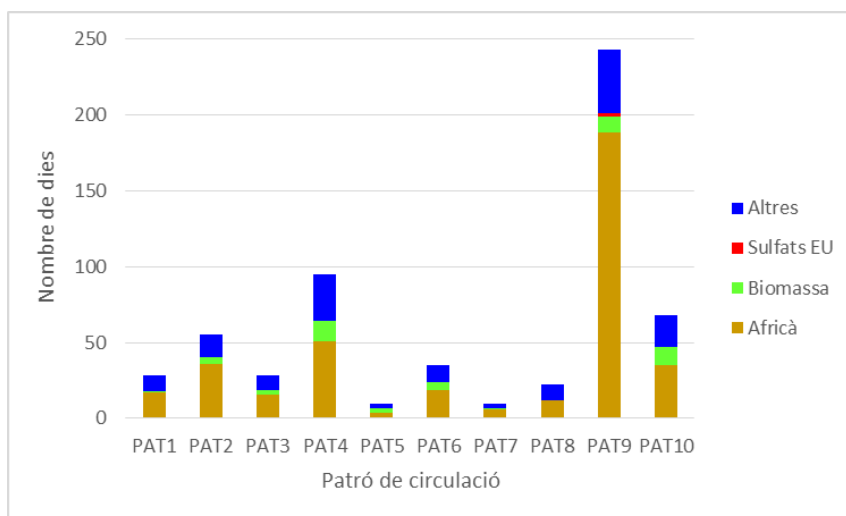
Imatge 11: Distribució anual dels patrons més freqüents (partícules)

El patró 4 és el més freqüent a l'hivern, especialment als mesos de gener i febrer, i el patró 10 ho és al mes de març, el patró 9 és el que es dona amb més freqüència a l'estiu.

Amb la fi de determinar la procedència de les partícules als dies identificats, s'han analitzat els registres dels episodis naturals elaborat per CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas i el MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente pel període 2005 - 2016), que fan un recull dels episodis de pols Africà, de les partícules originades per combustió de biomassa, així com dels sulfats arribats d'origen Europeu.

Del total dels 594 dies d'estudi, el 64,6% dels dies estan catalogats com dies d'intrusió de pols saharià a la península, un 8,9% correspon a dies de combustió de biomassa i el 0,3% de contribució per sulfats d'origen europeu. El restant 26,1% es van considerar com altres. A la figura següent es mostra la distribució del nombre de dies per cadascun dels patrons amb l'origen de la contribució.

Imatge 12: Nombre de dies per cadascun dels patrons classificats segons l'origen de la contribució de les partícules que indica CSIC-CIEMAT-MAGRAMA (període 2006 – 2015).



Font: Barcelona Regional amb dades XVPCA & CSIC-CIEMAT-MAGRAMA (període 2006 – 2015)

Segons l'anuari de la Qualitat de l'Aire a Catalunya del 2014 (DTS, 2014) entre el 2009 i el 2014 es van produir entre 42 i 60 episodis d'intrusió sahariana, la qual cosa mostra la importància d'aquest fenomen sobre la contaminació per partícules a l'Àrea de Barcelona.

2.4.1.4. Anàlisi de les retro-trajectories de les partícules.

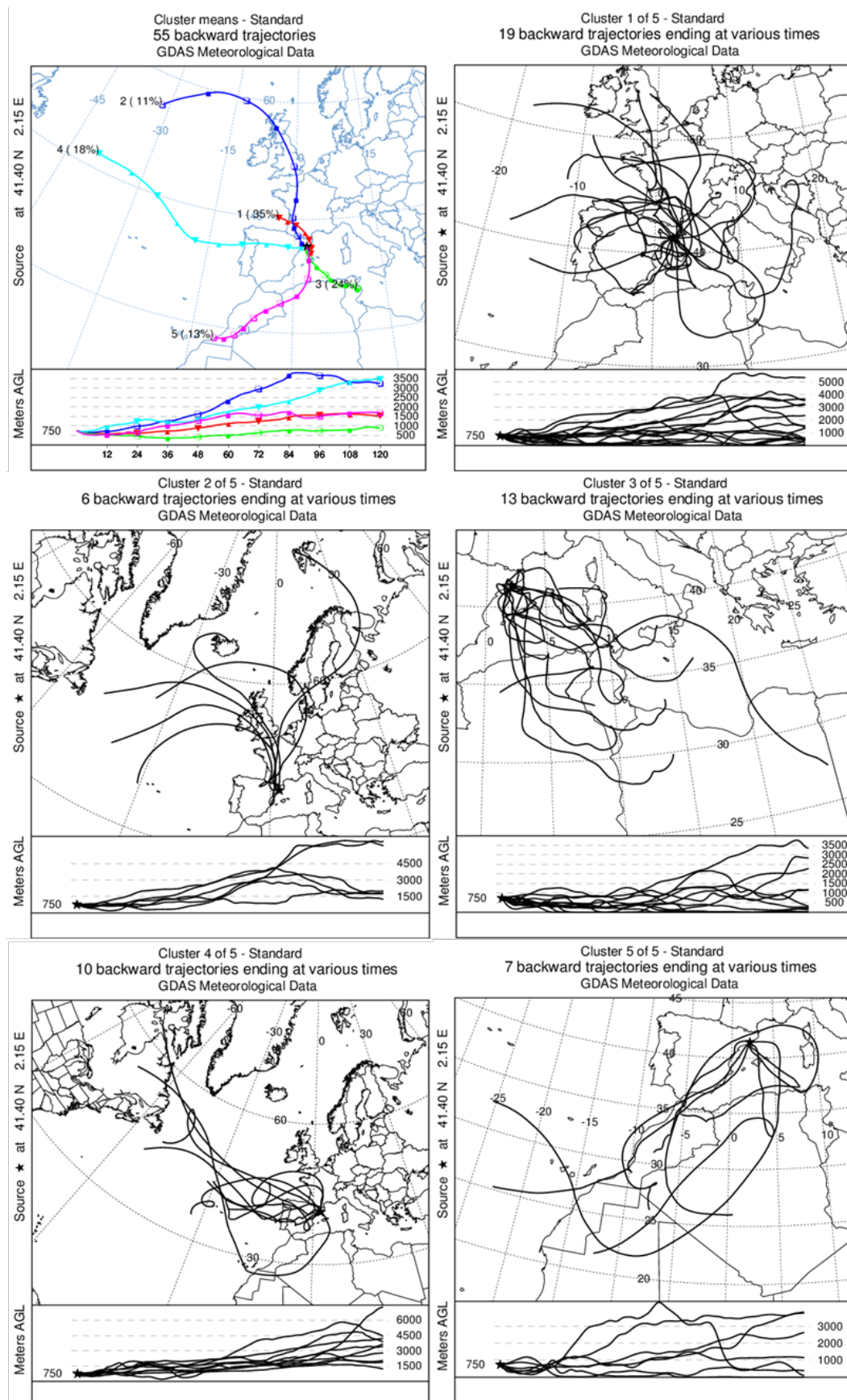
S'han analitzat les retro-trajectòries¹ amb el model HYSPLIT (NOAA, 2016) pels diferents patrons a 750 m de alçada, en el punt de destí i durant un període de 120 hores prèvies per cadascun dels dies identificats. Per aquest anàlisi s'han utilitzat les dades del GDAS (Global Data Assimilation System) de la NOAA amb resolució de 1 grau, per al període d'estudi 2006-2015 (NOAA, 2017).

A la figures següents es mostra la caracterització dels principals patrons (2, 4, 9 i 10) d'acord amb les trajectòries i el seu anàlisi clúster.

Al primer mapa es mostren els clústers mitjans, així com el nombre del clúster i la seva participació en percentatge, es diferencia per colors les trajectòries mitjanes de cadascun dels clústers (centroide). A continuació, en els mapes en blanc i negre es dibuixen les trajectòries individuals per cadascuna de les trajectòries que conformen cada clúster. Per totes aquestes, és mostra a la part inferior la trajectòria en alçada per les 120 hores analitzades.

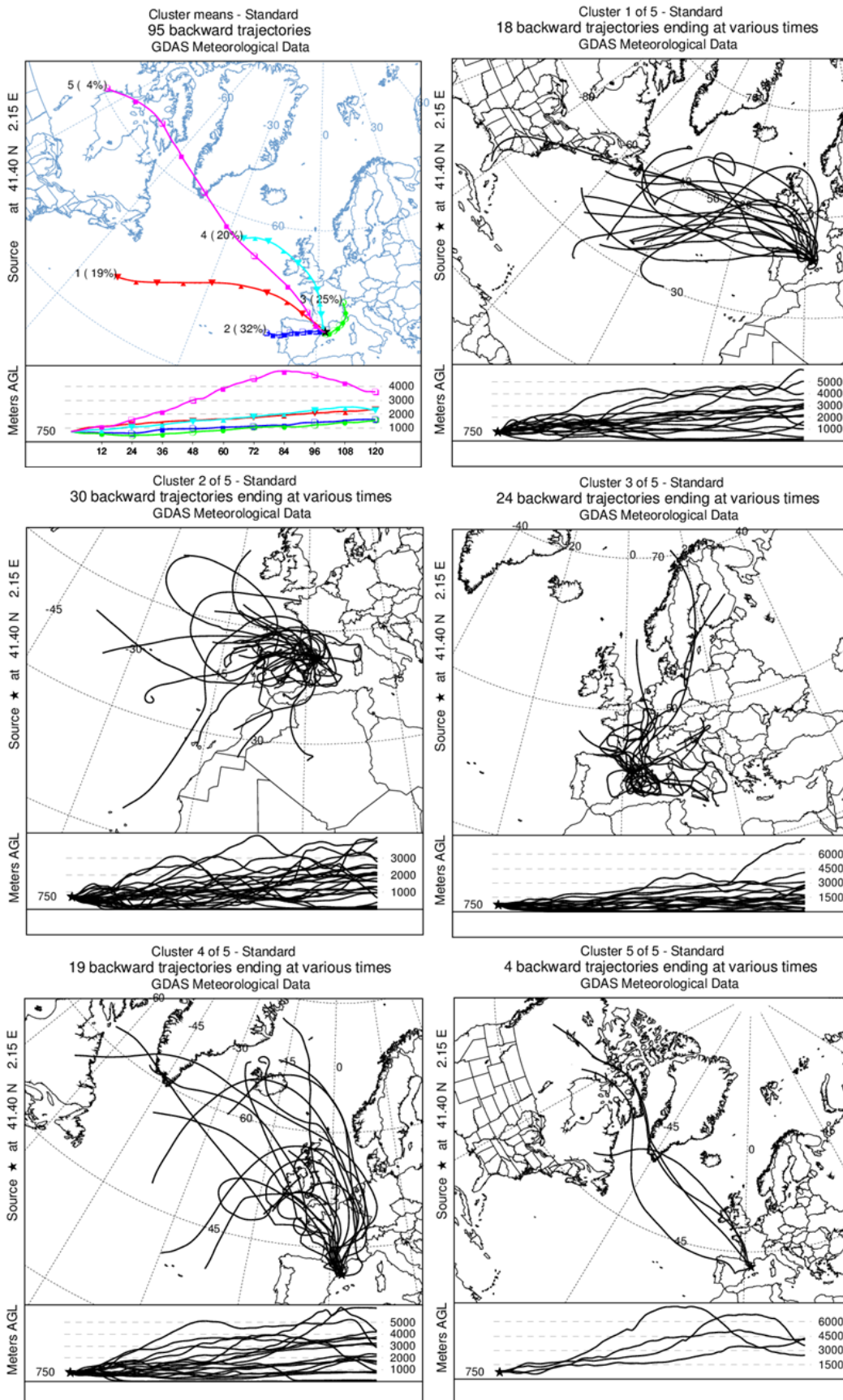
¹ Una retro trajectòria representa el recorregut previ realitzat per una massa d'aire abans d'incidir sobre una àrea determinada (Hernandez,2010)

Imatge 13: Caracterització del patró 2 de partícules d'acord amb les retro-trajectòries i el seu anàlisi clúster amb el model HYSPLIT a 750 m.



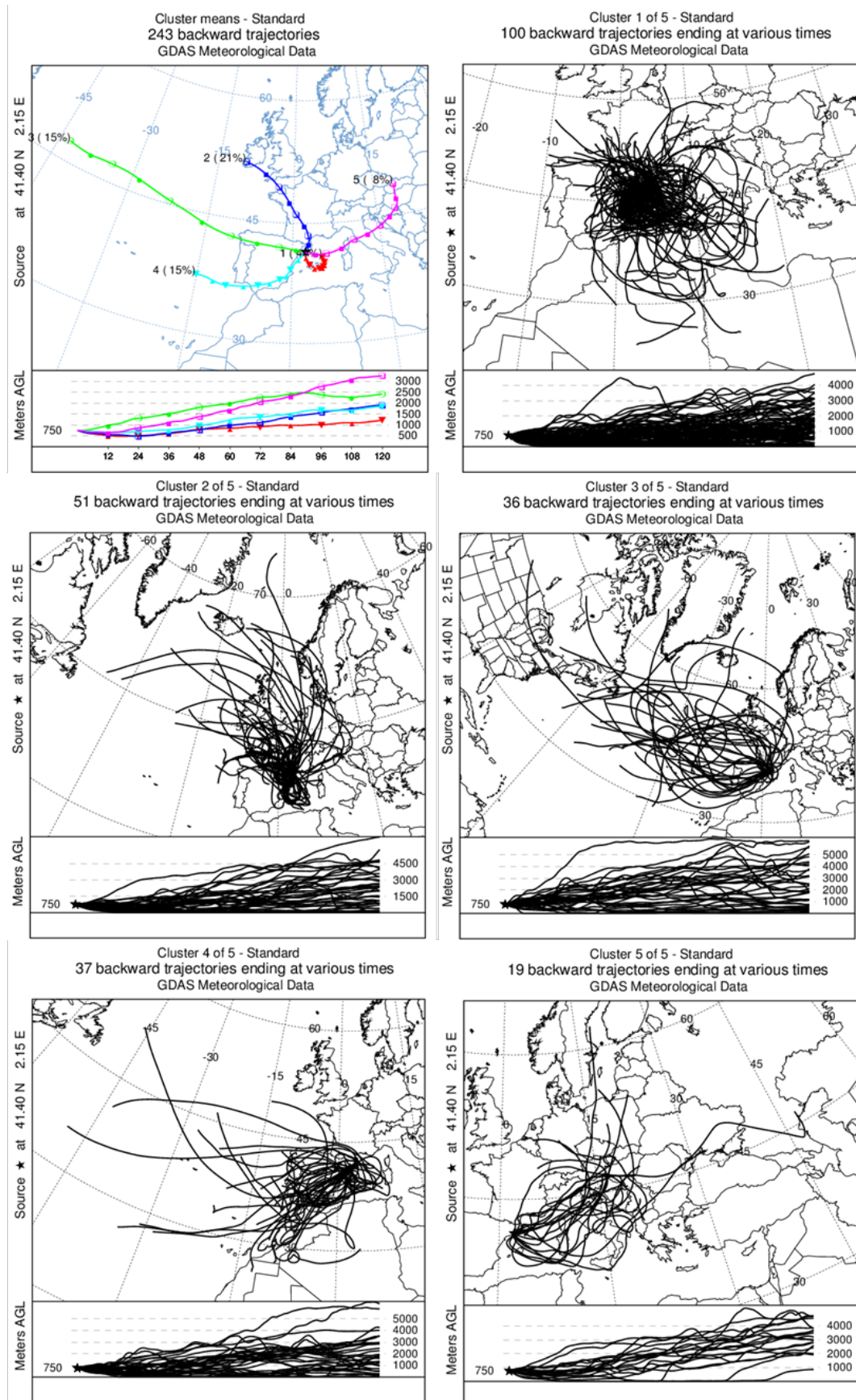
Font: Barcelona Regional amb el model HYSPLIT i dades de GDAS

Imatge 14: Caracterització del patró 4 de partícules d'acord amb les retro-trajectòries i el seu anàlisi clúster amb el model HYSPLIT a 750 m.



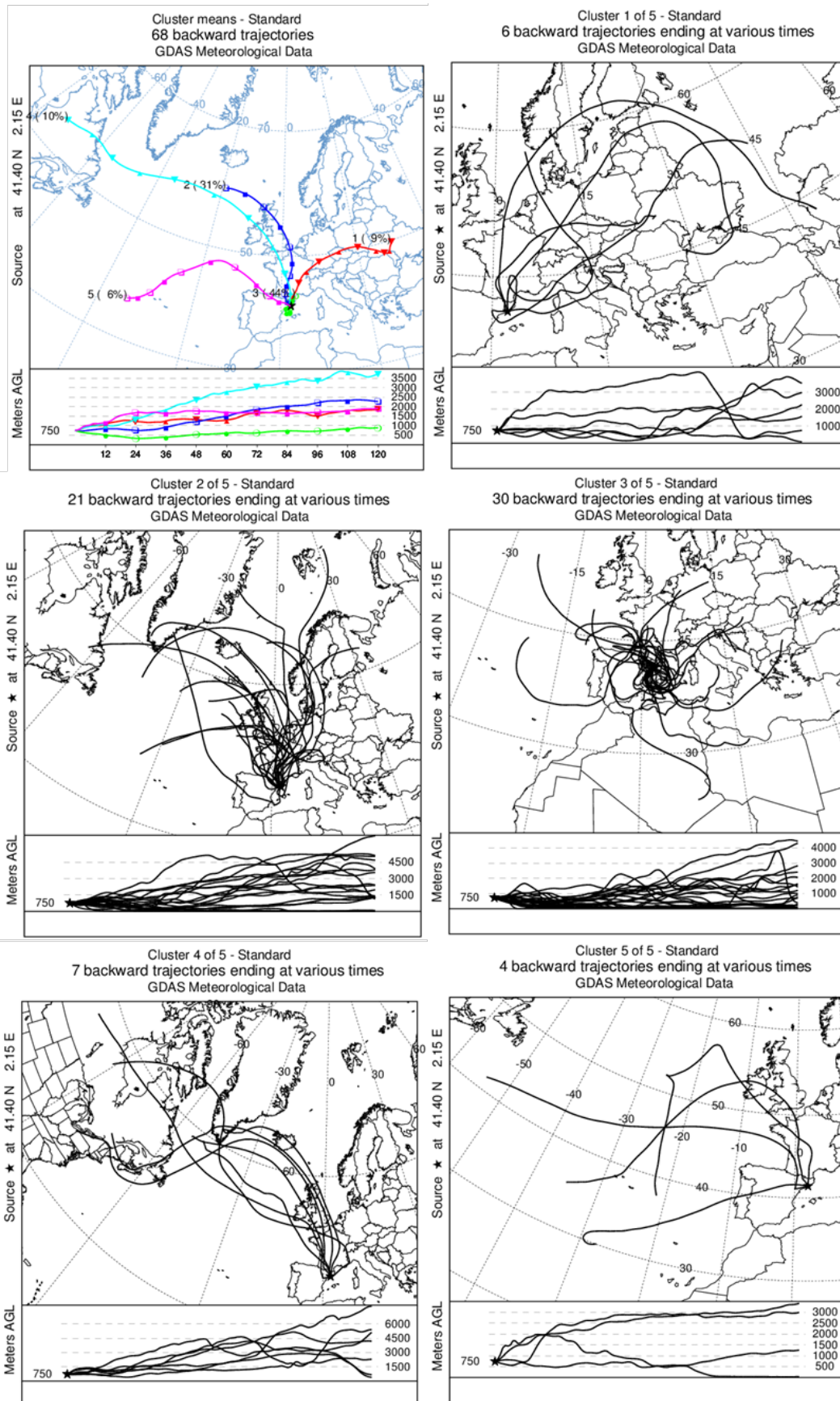
Font: Barcelona Regional amb el model HYSPLIT i dades de GDAS

Imatge 15: Caracterització del patró 9 de partícules d'acord amb les retro-trajectòries i el seu anàlisi clúster amb el model HYSPLIT a 750 m.



Font: Barcelona Regional amb el model HYSPLIT i dades de GDAS

Imatge 16: Caracterització del patró 10 de partícules d'acord amb les retro-trajectòries i el seu anàlisi clúster amb el model HYSPLIT a 750 m.



Font: Barcelona Regional amb el model HYSPLIT i dades de GDAS

A les figures es pot veure com els patrons 4 i 10, tenen del 4% al 10% de trajectòries de llarg recorregut (alta velocitat), les quals tenen origen majoritàriament a Canadà. Com s'ha vist prèviament, aquests patrons són els més freqüents a l'hivern, quan les baixes pressions (borrasques) a Islàndia provoquen una circulació més forta sobre Europa (en sentit horari), la qual cosa també incideix sobre les trajectòries de recorregut mitjà que poden estar a prop d'un 40% i que provenen de l'Atlàntic nord. Aquestes masses d'aire fredes (més denses) contribueixen a pressionar les capes baixes de l'atmosfera incrementant la pressió atmosfèrica en superfície i per tant afavoreixen les condicions d'estabilitat (anticicló tèrmic²).

En tots els patrons s'observa que hi ha com mínim un 50% de trajectòries de curt recorregut, que es troben associats amb processos de recirculació regional entre el nord d'Àfrica, el Mediterrani i la península, degut a l'efecte de l'anticicló de les Açores. Aquest anticicló, en funció de la seva ubicació, propicia la generació i transport de pols Saharià (veure annex 6.1.1) i produeix condicions d'estabilitat que dificulten la seva dispersió.

Al patró 9, que és el més freqüent, destaca el clúster 1, que té un 44% de les trajectòries que es re-circulen en una mena d'espiral (anticicló dinàmic³) i que d'una banda transporten pols saharià directament des del nord d'Àfrica o indirectament des d'altres zones de la península i d'una altra banda pressionen les capes baixes de l'atmosfera dificultant el seu moviment horitzontal.

2.4.1.5. Efecte del canvi climàtic sobre les situacions sinòptiques identificades per les partícules.

Una vegada caracteritzats els patrons, s'ha analitzat com aquests podrien canviar la seva freqüència i la seva intensitat, en els escenaris de canvi climàtic IPCC (2013) RCP 4.5 i RCP 8.5.

A les figures següents es mostra la caracterització respecte a la situació actual (2006 – 2020) dels tres patrons més freqüents i la seva evolució per períodes de cada 15 anys per els dos escenaris de canvi climàtic. En la part superior d'aquestes figures es mostra la caracterització del patró per als dies "d'alta concentració", segons el model The 20th Century Reanalysis V2 (20CR) amb la representació dels camps de pressió atmosfèrica en superfície (hPa) i les anomalies de temperatura a T850 (°C) a més del nombre total de dies per mesos, pel període amb observacions.

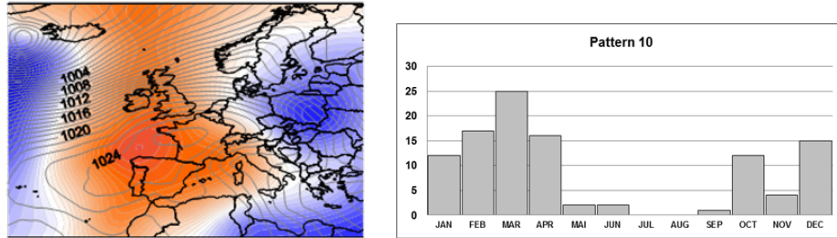
Posteriorment es mostra la previsió que conté, per períodes de 15 anys, l'evolució prevista del patró als escenaris de canvi climàtic de IPCC (2013) RCP 4.5 (2006 – 2095) i RCP 8.5 (2006 – 2095). En cadascun d'aquests períodes, es mostra l'evolució de les anomalies de temperatura a T850.

² Un anticicló tèrmic es forma pel descens d'una massa d'aire a causa del fet que està més freda que l'entorn. Es produeix quan l'aire davalla per refredament, augmenta la pressió atmosfèrica, i la pèrdua de temperatura és més gran en les capes baixes que en les altes, provocant una inversió tèrmica.

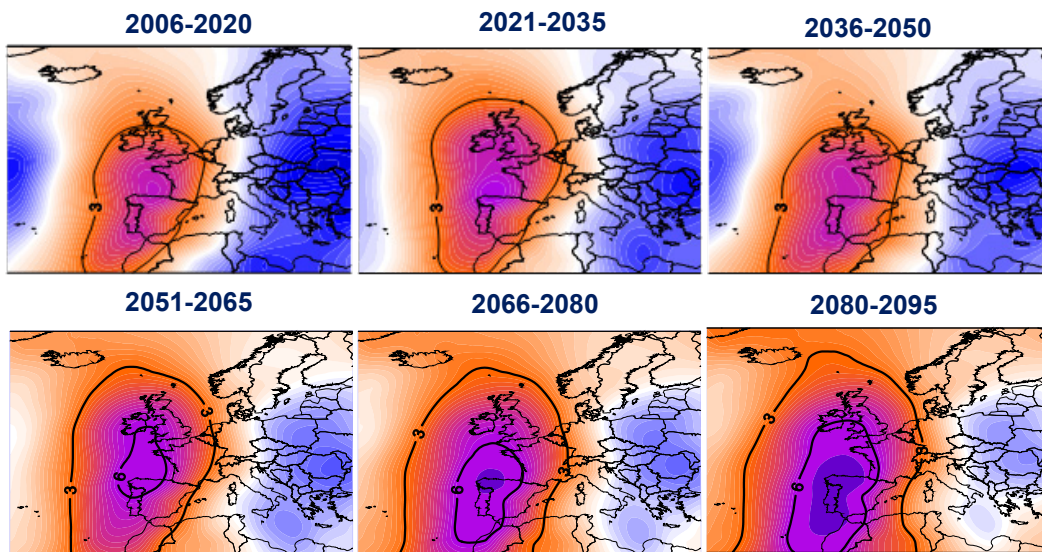
³ Un anticicló dinàmic es forma per la davallada d'una massa d'aire que és embranzida cap a la superfície de la Terra per l'advecció en alçada de masses d'aire que la desplacen del lloc en què es troba. Origina temps sec, assolellat i calorós. L'anticicló es caracteritza per la seva pressió atmosfèrica que és superior a la de l'aire proper, això produeix un efecte expansiu en aquesta zona.

Imatge 17: Evolució del patró 10 als escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5 (2006-2095) per partícules

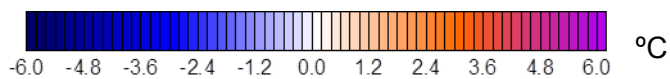
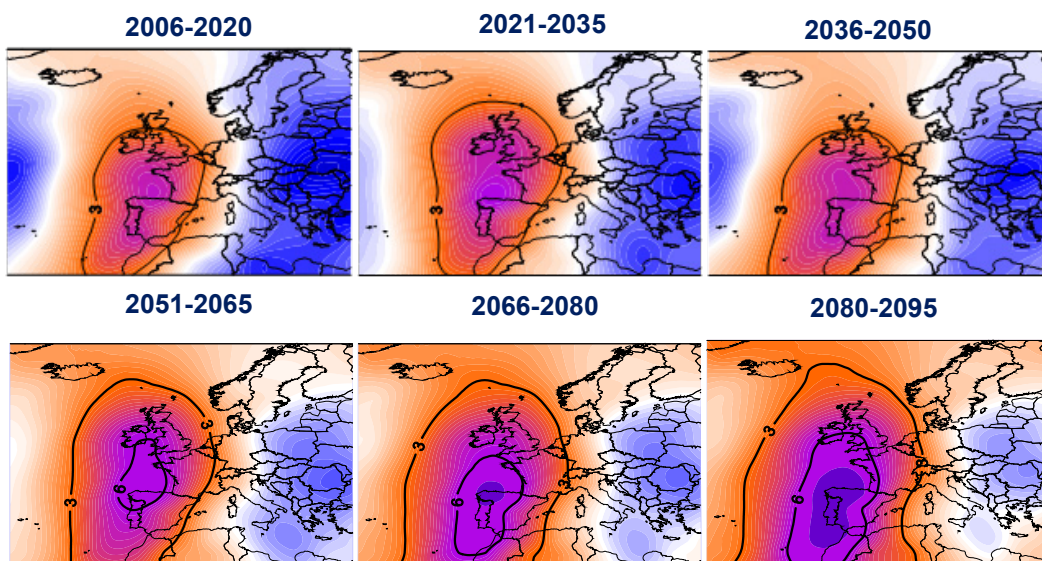
Observacions 2006-2015 (68 episodis)



Previsió aT850 en RCP 4.5 (2006-2095)



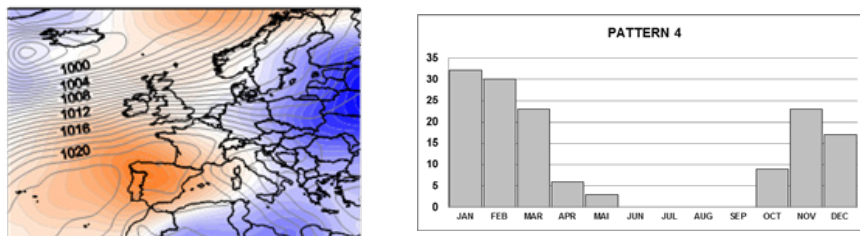
Previsió aT850 en RCP 8.5 (2006-2095)



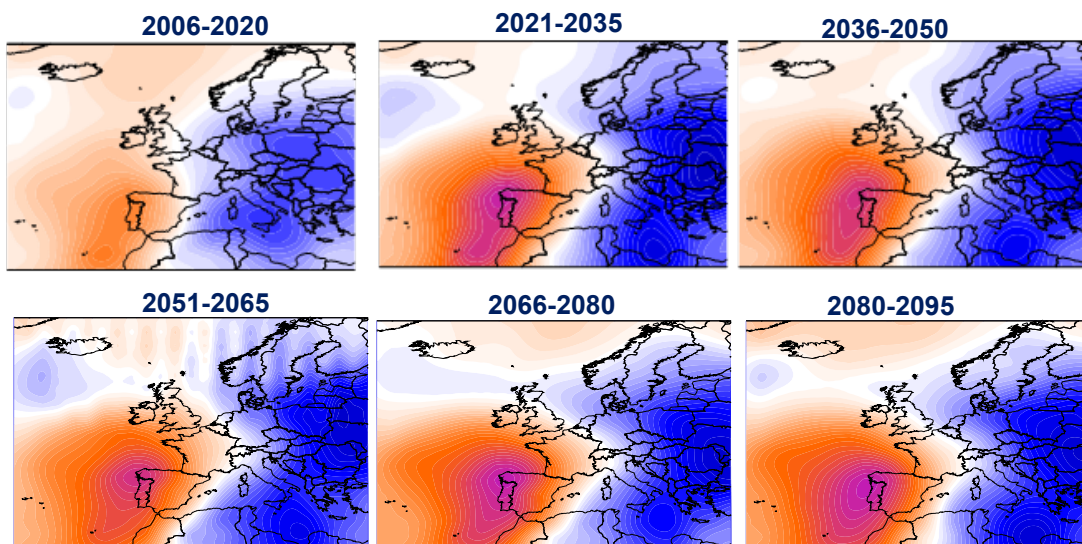
Font: SMC

Imatge 18: Evolució del patró 4 als escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5 (2006- 2095) per partícules

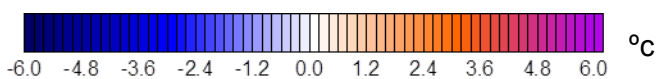
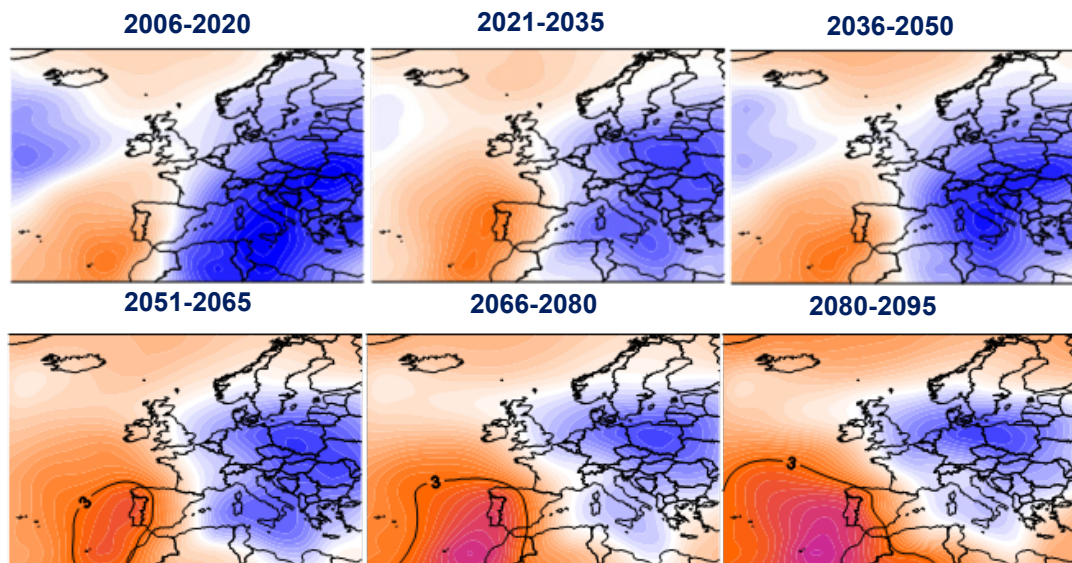
Observacions 2006-2015 (95 episodis)



Previsió aT850 en RCP 4.5 (2006-2095)



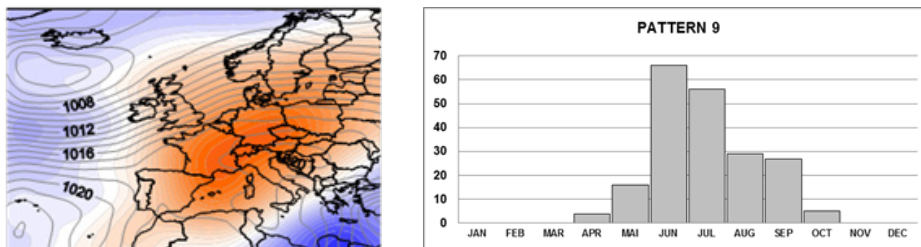
Previsió aT850 en RCP 8.5 (2006-2095)



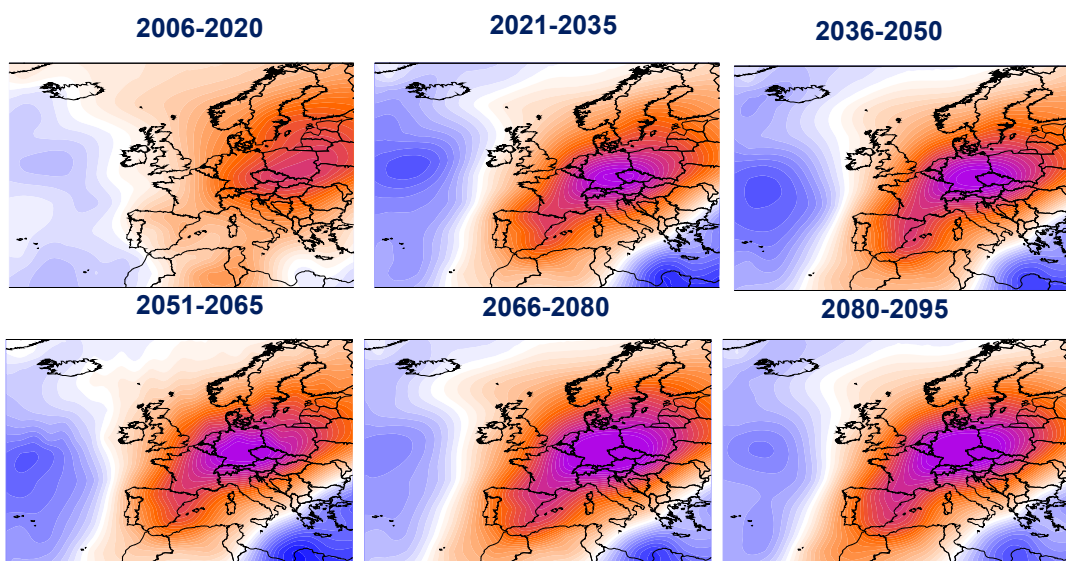
Font: SMC

Imatge 19: Evolució del patró 9 als escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5 (2006-2095) per partícules

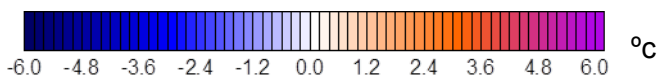
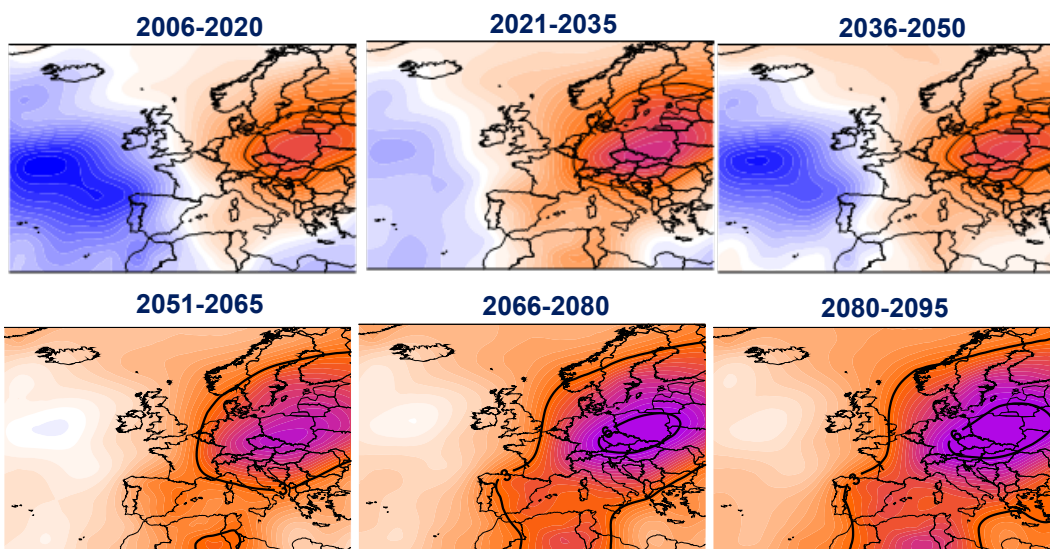
Observacions 2006-2015 (243 episodis)



Previsió aT850 en RCP 4.5 (2006-2095)



Previsió aT850 en RCP 8.5 (2006-2095)

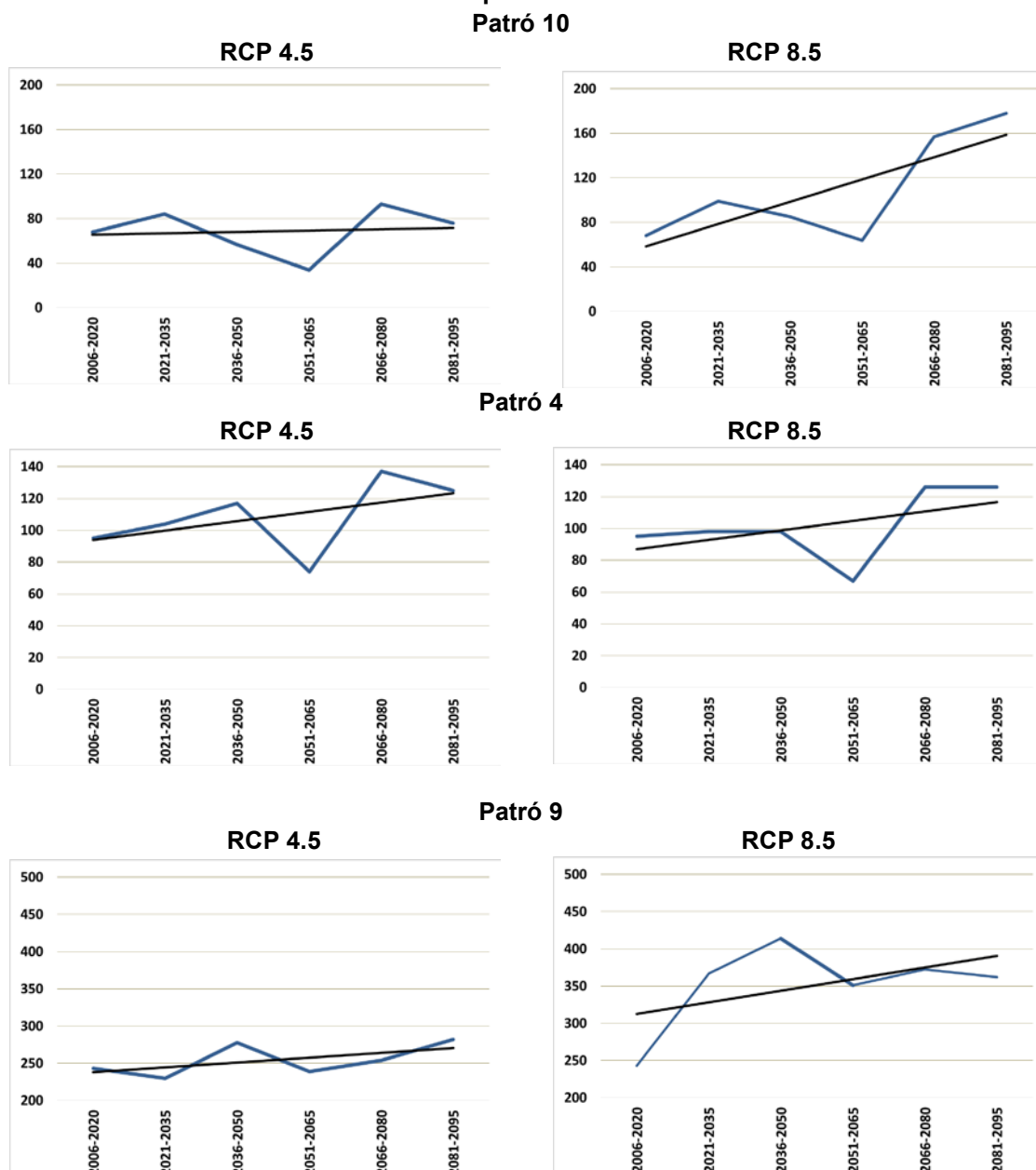


Font: SMC

Als mapes anteriors es pot observar com es preveu un escalfament (increment positiu de les anomalies de temperatura del conjunt del domini) generalitzat i progressiu en els diferents patrons i per la majoria dels períodes, la qual cosa té major variació a l'escenari RCP 8.5.

A partir d'aquestes dades s'ha analitzat la freqüència d'aquests patrons en el futur. A la següent figura es mostra l'evolució del nombre de dies previstos per cadascun dels tres patrons més freqüents i per cadascun dels períodes en els escenaris climàtics considerats. La línia blava mostra el nombre de dies previstos i la negra la tendència amb una regressió lineal.

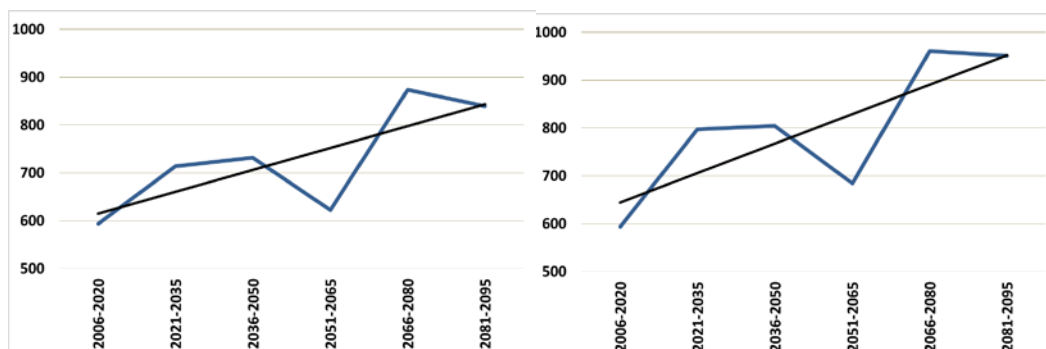
Imatge 20: Evolució del nombre de dies “d'alta concentració” previstos para cada període i cadascun dels tres patrons més freqüents en els escenaris de canvi climàtic considerat per les partícules



Font: SMC

La tendència en tots els casos mostra un increment net en el nombre de dies. Es pot observar, a la gràfica anterior, com el patró 10 preveu que s'incrementi, en el període de 15 anys a final de segle (del 2081 al 2095), entre un 12% (8 dies en aquest període) i un 162% (110 dies també en aquest període) per als escenaris RCP 4.5 i 8.5 respectivament. El patró 4 es preveu augmenti entre un 32% (30 dies) i 33% (31 dies), mentre que per al patró 9, s'estima un increment del 16% (39 dies) i 49% (119 dies), en els escenaris RCP 4.5 i 8.5 respectivament.

Imatge 21: Evolució del nombre total de dies “d’alta concentració” previstos en els escenaris de canvi climàtic considerat per a les partícules TOTS ELS PATRONS (de l’1 al 10)



Font: SMC

Com es pot observar a la imatge anterior el nombre total de dies “d’alta concentració” per a les partícules, considerant tots els patrons identificats, es preveu que s'incrementi en el període a final de segle (de 2081 a 2095) fins a 246 dies (41%) per l’escenari RCP 4.5 i 357 dies (60%) pel RCP 8.5. S’observa també una relaxació en el nombre de dies en el període 2051-2065, en tots dos casos.

La mitjana anual en l’actualitat (2006-2020) presenta de l’orde de 40 dies d’alta concentració. El canvi climàtic suposaria a finals de segle (i tenint en compte que el període 2081-2095 són 15 anys), un possible increment d’entre 16 i 24 dies⁴ més de mitjana anual per als escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5, respectivament.

⁴ 16 ≈ 246 dies / 15 anys del període, 24 ≈ 357 dies / 15 anys del període.

2.4.2. SITUACIONS SINÒPTIQUES PER L'OZÓ

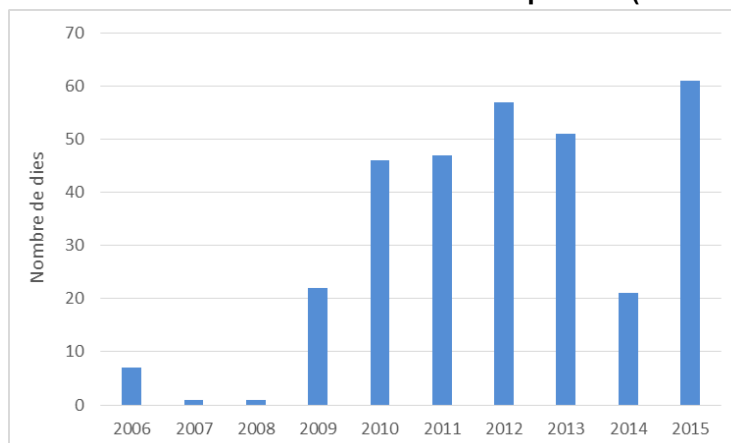
2.4.2.1. Identificació de les situacions sinòptiques

Per la identificació de les situacions sinòptiques per l'O₃ s'han analitzat les estacions de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, que van a superar els valors de tall per l'O₃ indicats a la Taula 1: Badalona, Montcada i Reixac, Gavà, Hospitalet de Llobregat (Torrent), el Prat (Jardins), Sant Adrià del Besòs (Canal Olímpic), Sant Cugat del Vallès (Parc Sant Francesc), Viladecans (Atrium), Sant Vicenç dels Horts (Ribot Sant Miguel) i Sant Andreu de la Barca (CEIP – Josep Pla) en el període 2006 – 2015.

En aquest anàlisi, encara que es van a incloure les estacions de Barcelona ciutat, només es va presentar una superació a l'estació de fons de Ciutadella (2015/06/06), aquesta situació és típica a les grans ciutats, ja que l'ozó reacciona i es consumeix molt ràpidament en entorns urbans densos, degut a l'alta concentració de NO i seva ràpida oxidació a NO₂ (veure apartat 2.3).

Per les estacions analitzades es van identificar 314 dies "d'alta concentració". La qual cosa representa prop d'un 9% del total de dies del període (2006 – 2015). A la figura 22 es mostra el nombre de dies d'alta concentració per any.

Imatge 22: Nombre de dies "d'alta concentració" al període (2006-2015) per l'O₃



Font: Barcelona Regional amb dades de la XVPCA

2.4.2.2. Caracterització de les situacions sinòptiques

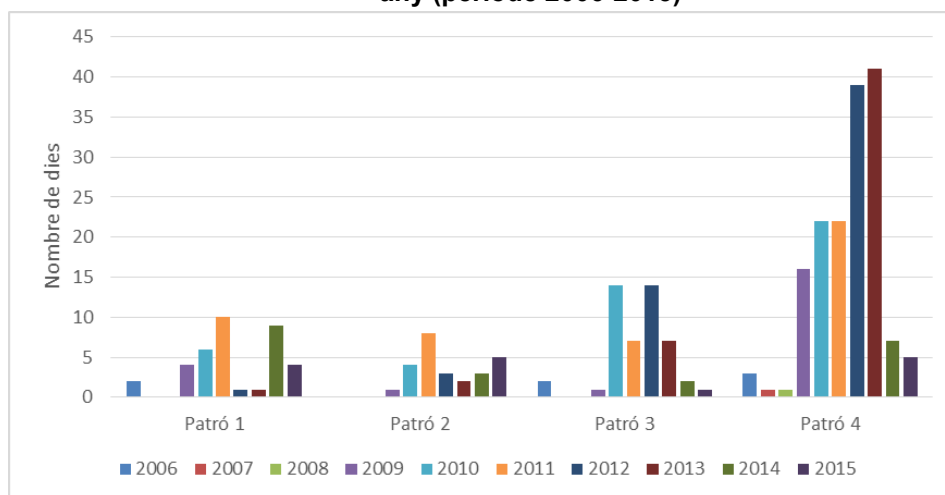
Una vegada identificats els dies d'alta concentració d'O₃, i el seu tractament amb les dades del model global 20CRv2, s'ha obtingut un conjunt de 4 patrons comuns per 268 dels 314 dies identificats. A la taula i figura següents es mostra el nombre de dies i el percentatge de cadascun dels patrons.

Taula 3: Nombre de dies “d’alta concentració” segons el patró per l’O₃ (període 2006-2015)

Patró	Nombre	Percentatge
Patró 1	37	13.8%
Patró 2	26	9.7%
Patró 3	48	17.9%
Patró 4	157	58.6%
Total	268	100%

Font: Barcelona Regional

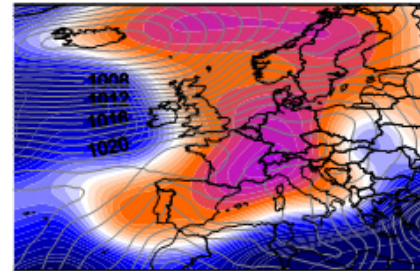
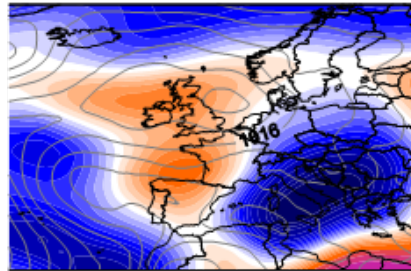
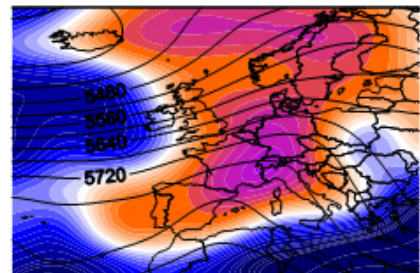
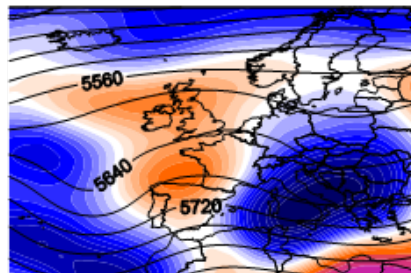
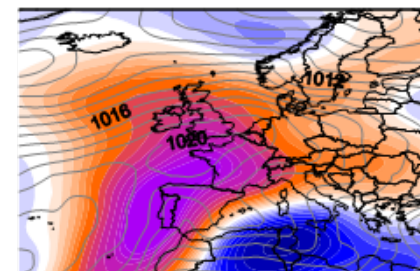
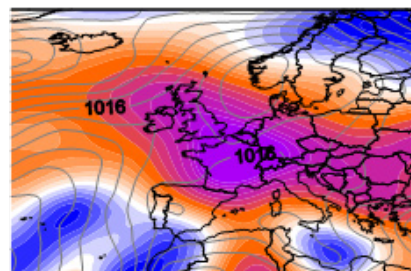
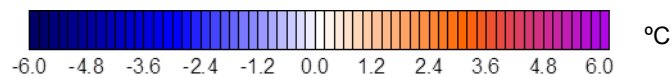
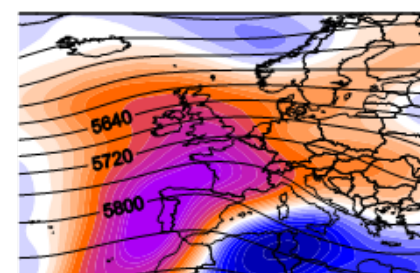
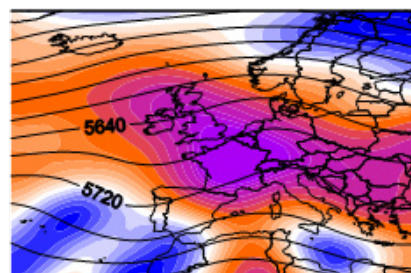
Imatge 23: Nombre de dies “d’alta concentració” d’O₃ segons patró i any (període 2006-2015)



Font: Barcelona Regional

Com es pot veure a les dades anteriors el patró 4 destaca com el més freqüent, amb un 59% dels dies, el segon patró més freqüent és el patró 3 amb únicament un 18% dels dies.

En les figures següents es mostren per cadascun dels 4 patrons identificats, la representació de la pressió atmosfèrica en superfície (figura superior), l'alçada geopotencial a 500 hPa (Z500 figura inferior) i aT850 (anomalies de temperatura a 850 hPa). Així com el percentatge de dies en que succeeixen.

Imatge 24: Patrons sinòptics pels 268 dies d'estudi d'O₃ a Barcelona (2006-2015)**Pressió atmosfèrica (hPa) línies i aT850 (°C) fons****PATRÓ 1 (13.8%)****PATRÓ 2 (9.7%)**Pressió
en sup.
(línies)
+ aT850
(fons)Z500
(línies)
+ aT850
(fons)**PATRÓ 3 (17.9%)****PATRÓ 4 (58.6%)**Pressió
en sup.
(línies)
+ aT850
(fons)Z500
(línies)
+ aT850
(fons)

Font: SMC

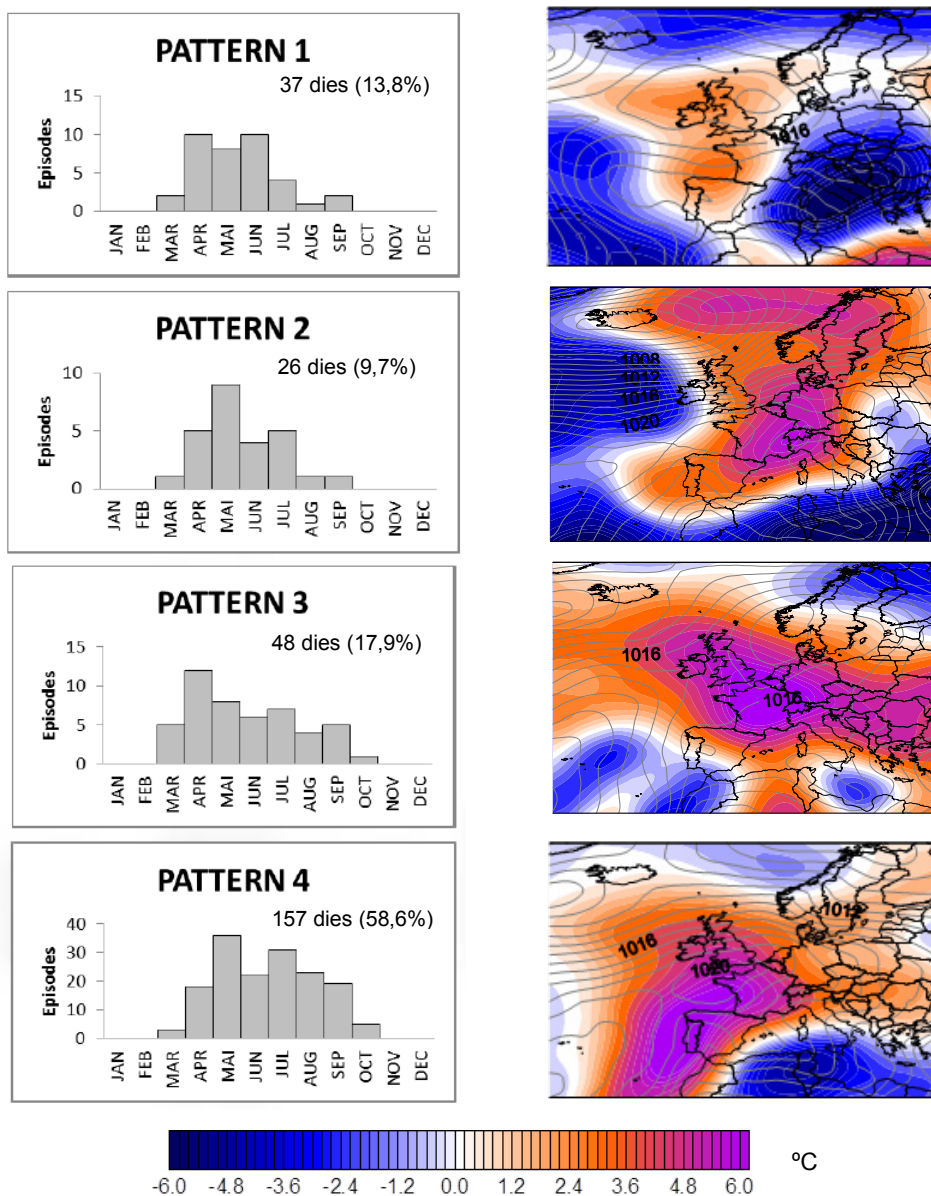
A la figura anterior es pot veure que tots els patrons tenen en comú una zona càlida ubicada entre el nord de la península i França, la qual s'estén sobre el centre d'Europa en els patrons 2 i 3, i sobre Portugal en el patró 4. En el patró 1, la zona càlida és més petita i menys intensa.

En les figures també es pot veure que les isòbares que travessen Catalunya es troben al voltant dels 1012-1016 (hPa), que comparativament són menors respecte als patrons de partícules, la qual cosa permet el desenvolupament de processos verticals.

Així mateix, es pot observar com les corbes d'alçada geopotencial (Z500) tenen una important separació, el que indica una gran estabilitat en alçada, a més, sobre la península, es forma una petita muntanya degut a la baixa tèrmica, que es forma per l'escalfament de la península. Per tant l'aire que es troba prop de la superfície s'escalfa i es torna menys dens i ascendeix més ràpidament que l'aire de la zona del contorn, produint d'aquesta manera una zona de baixes pressions, que afavoreix les brises marines, mentre que els moviments horitzontals es troben limitats pels contorns, formant una mena de bossa.

A la figura següent es mostra la distribució anual dels patrons amb la representació de la pressió en superfície (hPa).

Imatge 25: Distribució anual dels patrons més freqüents per l'ozó



Font: SMC

Com es pot veure a la figura anterior, el major nombre de dies es presenten als mesos d'abril i maig, quan a més d'unes condicions de temperatura i radiació solar apropiades per la

generació de l'ozó, també hi ha la major activitat biològica i per tant major disponibilitat d'un dels principals precursors, els NMVOCs.

2.4.2.3. Anàlisi de les retro-trajectories de l'ozó.

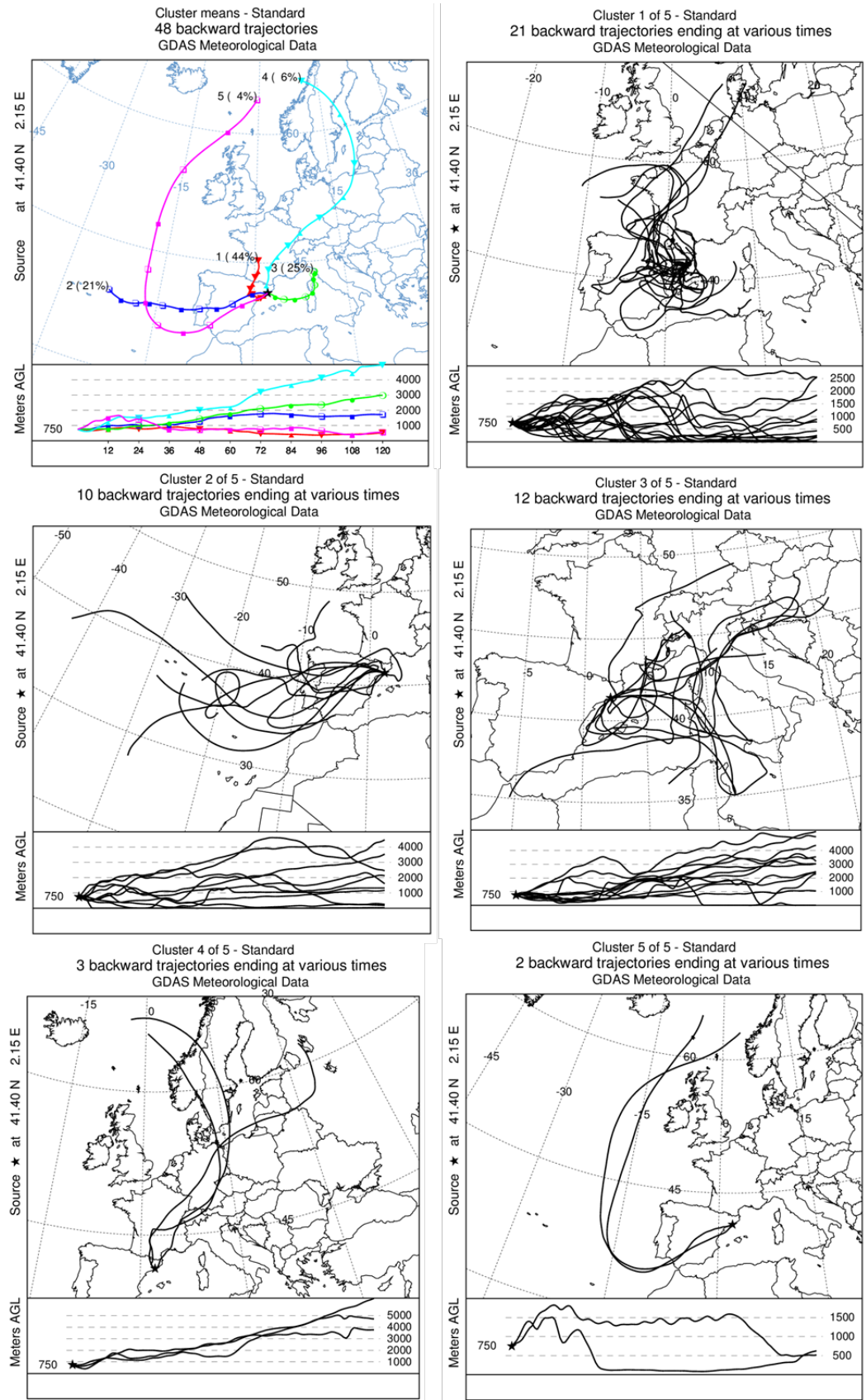
Com es descriu a l'annex 6.1.2 l'ozó és produït per la activitat fotoquímica de l'atmosfera i pot ser generat a escala regional, local o ser transportat des d'altres latituds.

En aquest sentit, s'han analitzat les trajectòries de les masses d'aire amb el model HYSPLIT de la NOAA, pels diferents patrons a 750 metres de alçada, durant un període de 120 hores prèvies, pels dies d'alta concentració de contaminants, per veure quines van ser les trajectòries d'aquestes masses en aquells dies.

En les figures següents es mostra la caracterització d'acord amb les trajectòries i l'anàlisi clúster, pels dos patrons més freqüents (patrons 3 i 4) els quals sumen un 76% dels dies identificats.

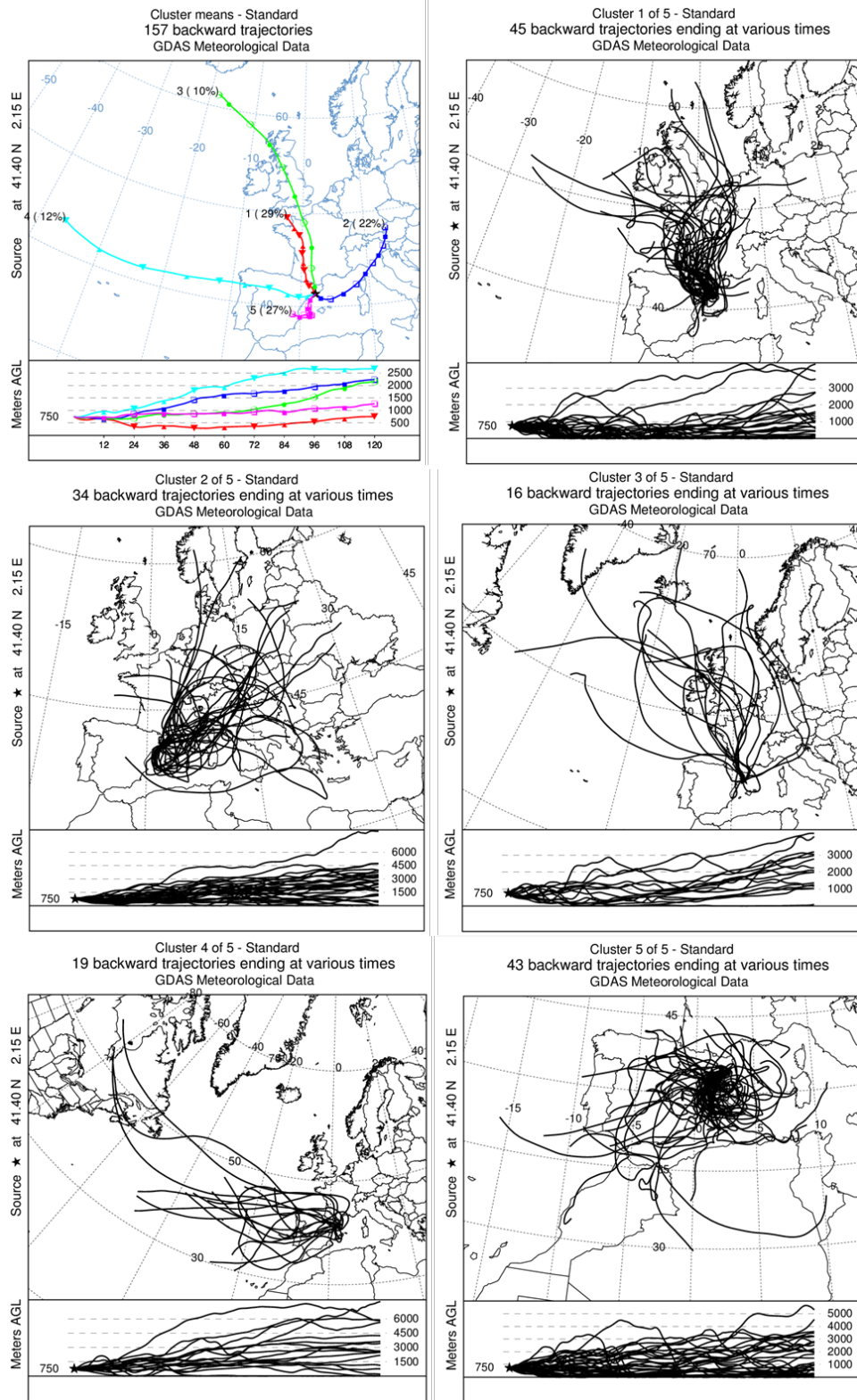
Al primer mapa es mostren els clústers mitjans, així com el nombre del clúster i la seva contribució en percentatge, es diferencia per colors les trajectòries mitjanes de cadascun dels clústers (centroide). A continuació, en els mapes en blanc i negre es dibuixen les trajectòries individuals per cadascuna de les trajectòries que conformen cada clúster. Per totes aquestes, és mostra a la part de baix, la trajectòria en alçada per les 120 hores analitzades.

Imatge 26: Caracterització del patró 3 d'ozó d'acord amb les retro-trajectòries i el seu anàlisi clúster amb el model HYSPLIT a 750 m.



Font: Barcelona Regional amb el model HYSPLIT i dades de GDAS

Imatge 27: Caracterització del patró 4 d'ozó d'acord amb les retro-trajectòries i el seu anàlisi clúster amb el model HYSPLIT a 750 m.



Font: Barcelona Regional amb el model HYSPLIT i dades de GDAS

Aquestes trajectòries mostren un recorregut molt més vertical i fins i tot travessen part d'Europa occidental, en comparació amb les trajectòries de les partícules que s'ha vist que tenen un recorregut molt més des del sud i des de l'Atlàntic.

En tots dos patrons predominen les trajectòries de recorregut mitjà i prop d'un 70% de les trajectòries passen sobre Europa Occidental, la qual cosa contribueix al transport de l'ozó generat en altres països i zones marítimes europees. També es pot veure que hi ha un gran nombre de trajectòries on predomina la recirculació sobre el Mediterrani, especialment en el patró 4.

La majoria de les masses d'aire que procedeixen del nord, en les darreres hores, fan un gir des del Mediterrani cap a Barcelona, la qual cosa coincideix amb els mecanismes descrits a l'annex 6.1.2

2.4.2.4. Efecte del canvi climàtic sobre les situacions sinòptiques identificats per l'ozó.

Una vegada s'han caracteritzat els patrons, s'ha analitzat com aquestes podrien canviar la seva freqüència i la seva intensitat, en els escenaris de canvi climàtic IPCC (2013) RCP 4.5 i RCP 8.5.

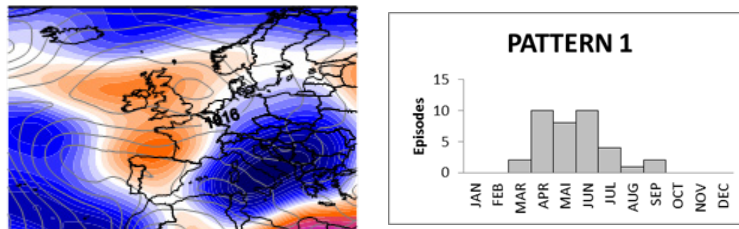
A les figures següents es mostra la caracterització present dels patrons més freqüents i la seva evolució per períodes de 15 anys pels dos escenaris de canvi climàtic considerats.

En la part superior de cadascuna de les figures es mostra la caracterització del patró pels dies "d'alta concentració", segons el model 20CRv2 amb la representació dels camps de pressió atmosfèrica en superfície (hPa) i les anomalies de temperatura a T850 (°C) a més del nombre total de dies per mesos, pel període amb observacions.

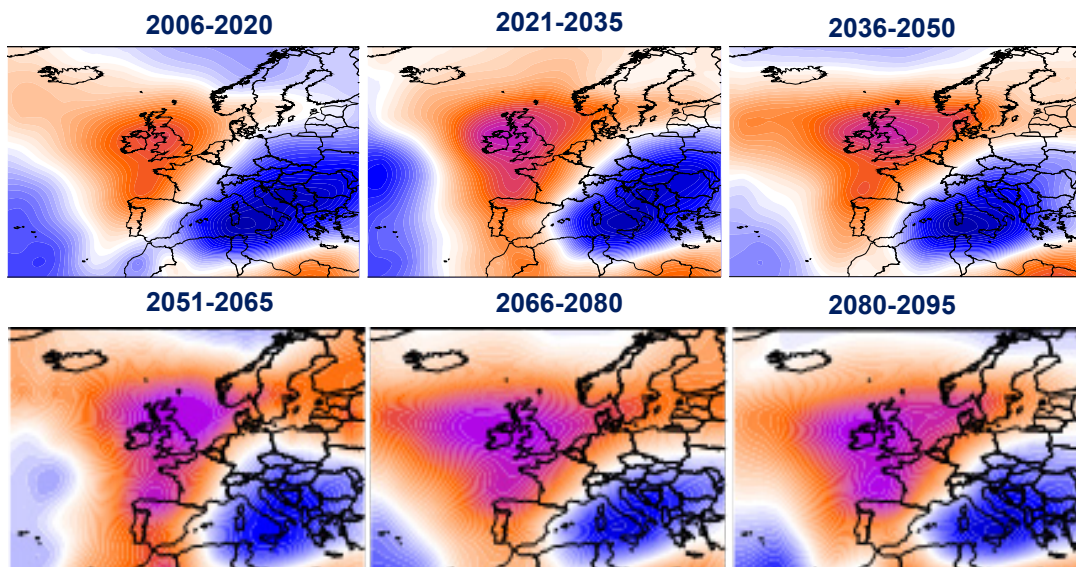
Posteriorment es mostra la previsió que conté, per períodes de 15 anys, l'evolució prevista del patró en els escenaris de canvi climàtic IPCC (2013) RCP 4.5 (2006 – 2095) i RCP 8.5 (2006 – 2095). En cadascun d'aquestes períodes, es mostra l'evolució de les anomalies de temperatura aT850.

Imatge 28: Evolució del patró 1 als escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5 (2006-2095) per l'ozó

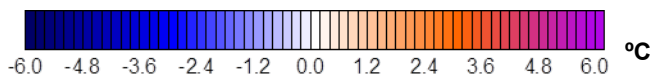
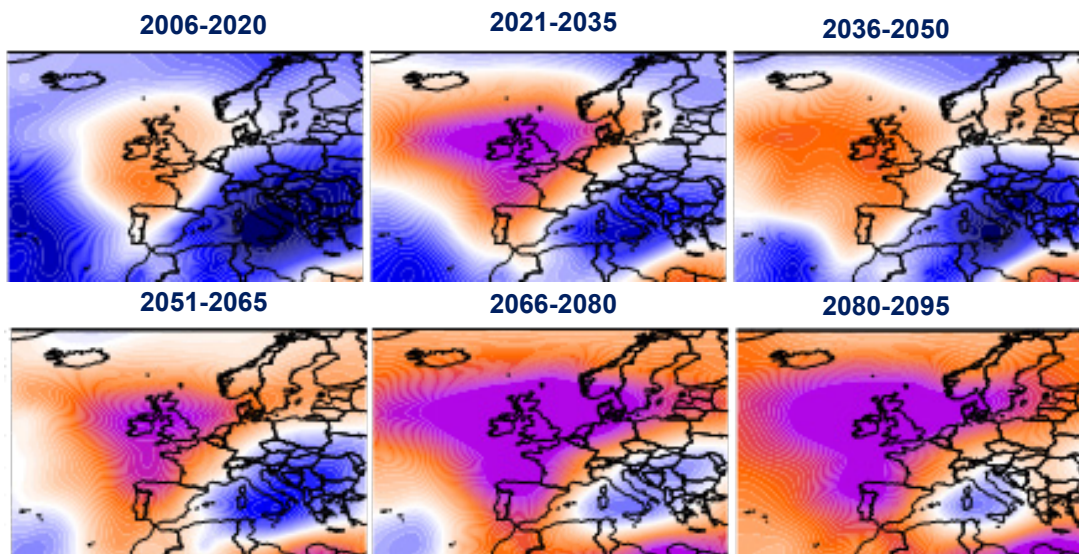
Observacions 2006-2015 (68 episodis)



Previsió aT850 en RCP 4.5 (2006-2095)



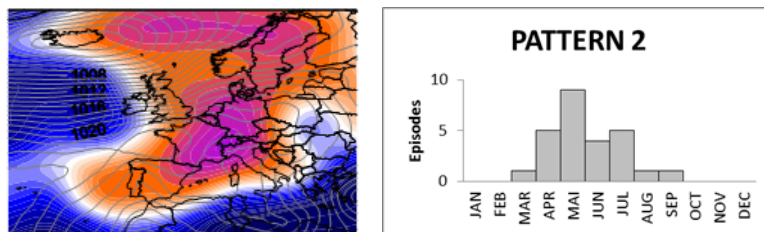
Previsió aT850 en RCP 8.5 (2006-2095)



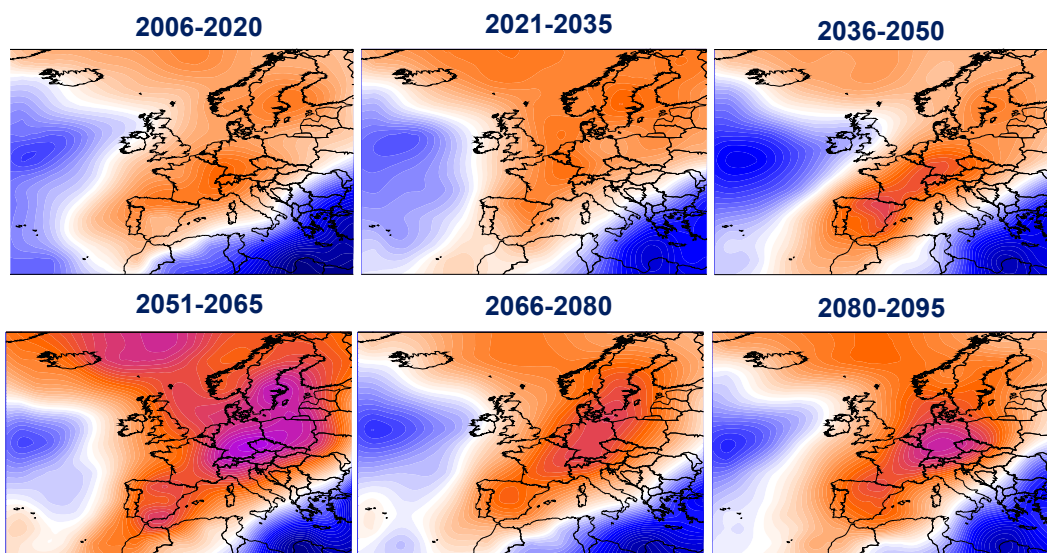
Font: SMC

Imatge 29: Evolució del patró 2 als escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5 (2006-2095) per l'ozó

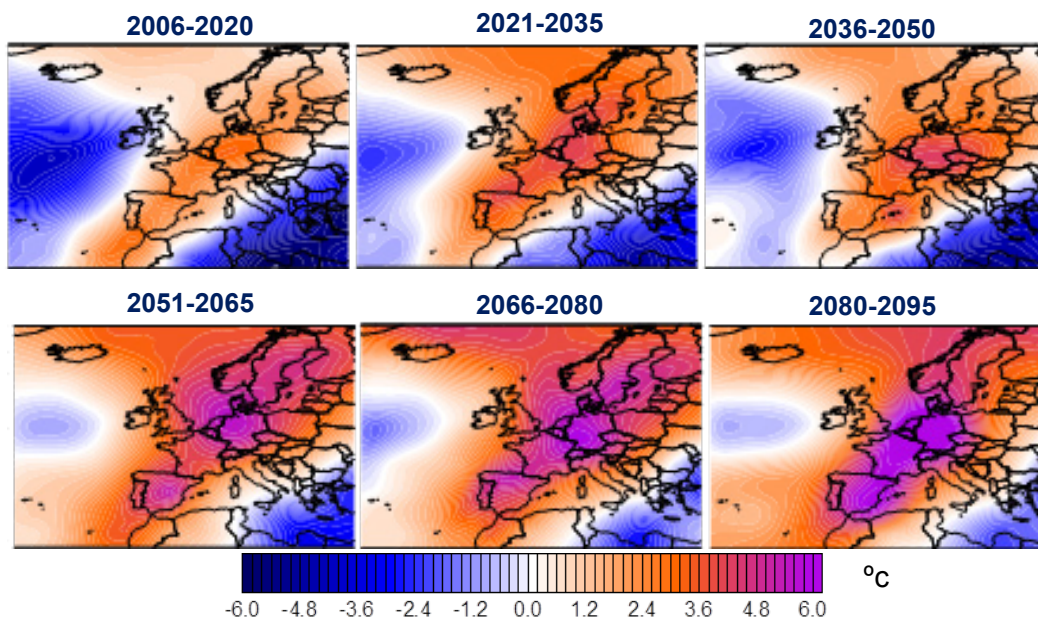
Observacions 2006-2015 (68 episodis)



Previsió aT850 en RCP 4.5 (2006-2095)



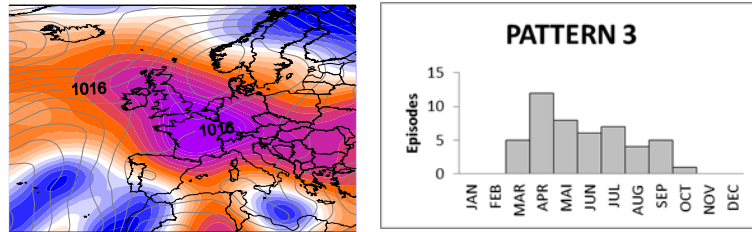
Previsió aT850 en RCP 8.5 (2006-2095)



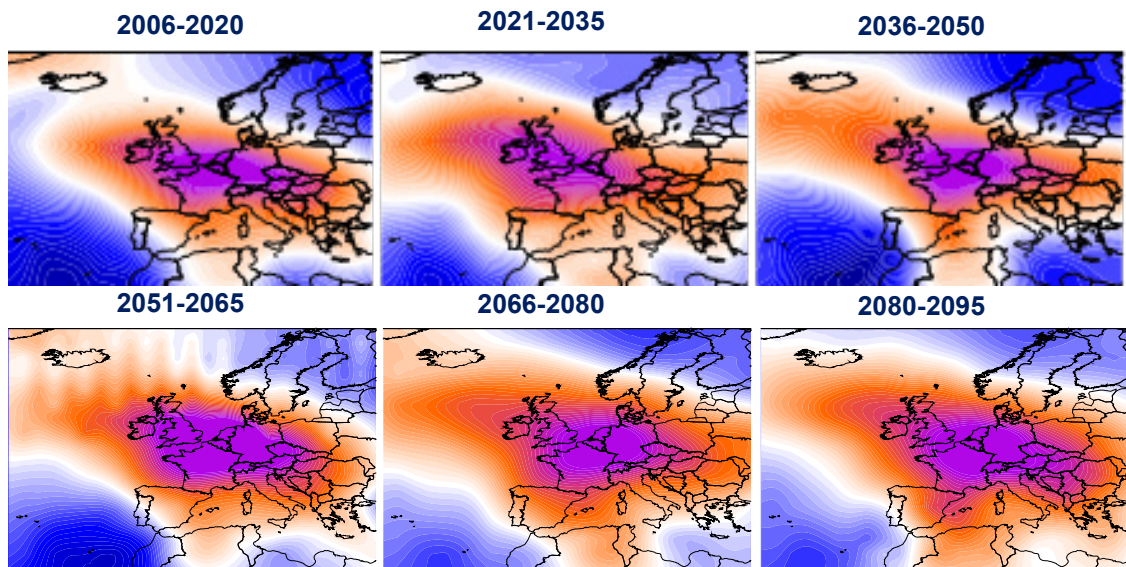
Font: SMC

Imatge 30: Evolució del patró 3 als escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5 (2006-2015) per l'ozó

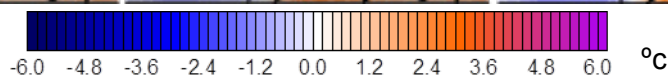
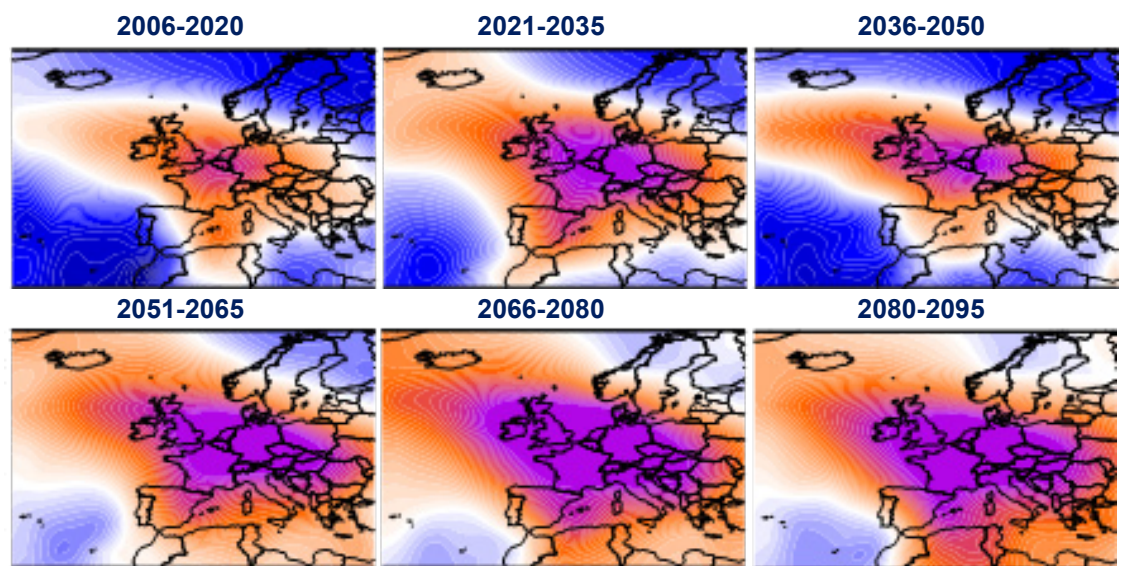
Observacions 2006-2015 (68 episodis)



Previsió aT850 en RCP 4.5 (2006-2015)



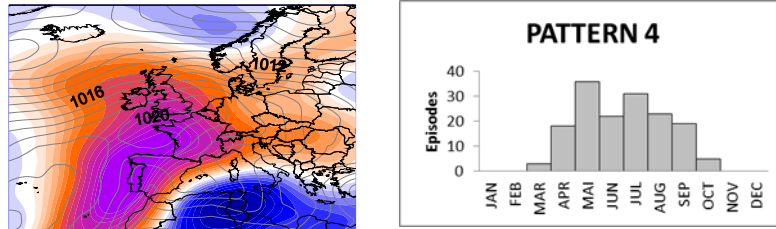
Previsió aT850 en RCP 8.5 (2006-2015)



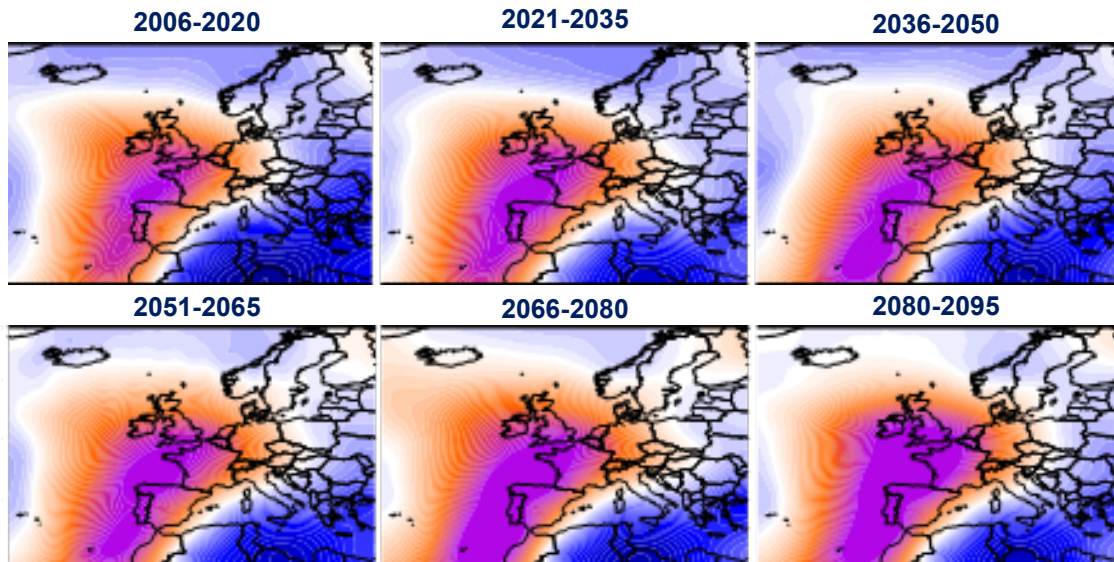
Font: SMC

Imatge 31: Evolució del patró 4 als escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5 (2006-20095) per l'ozó

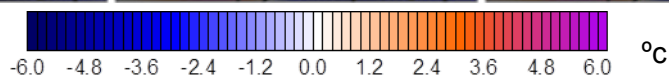
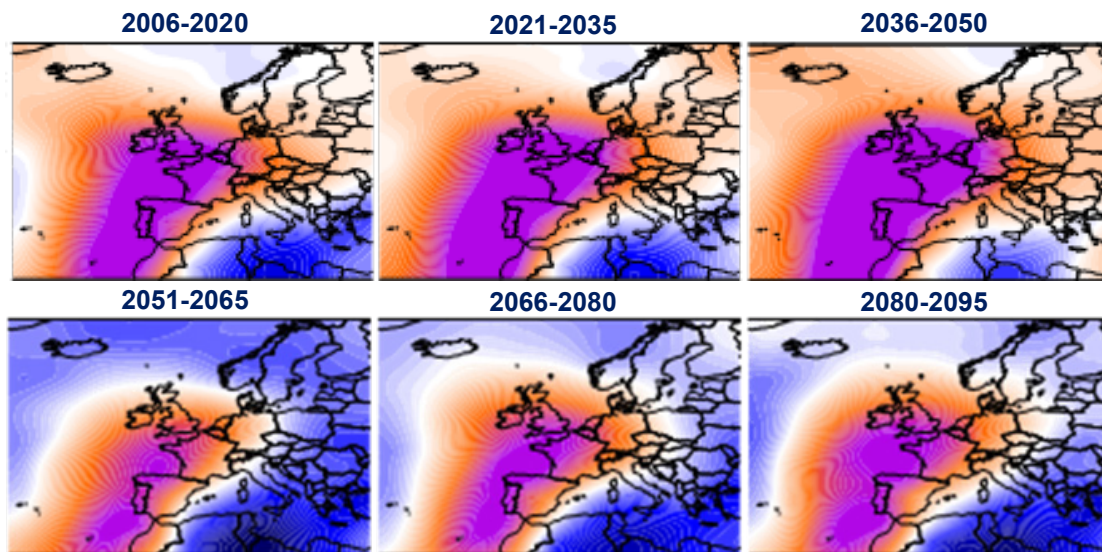
Observacions 2006-2015 (68 episodis)



Previsió aT850 en RCP 4.5 (2006-20095)



Previsió aT850 en RCP 8.5 (2006-20095)

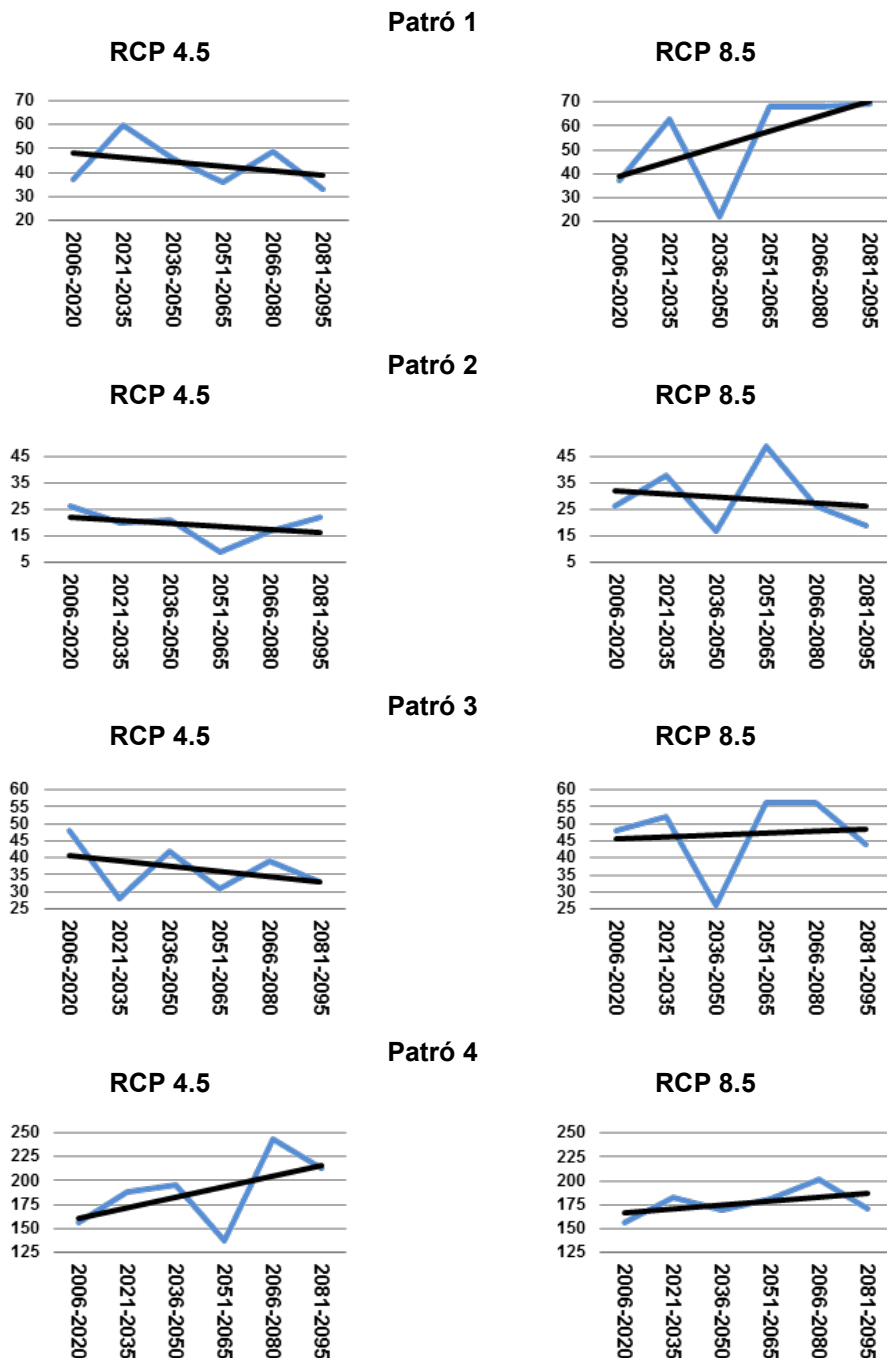


Font: SMC

En els mapes anteriors es pot veure que hi ha períodes d'escalfament (increment de les anomalies positives en el conjunt del domini) respecte al període anterior, i altres de refredament (increment de les anomalies negatives en el conjunt del domini), que es reflecteix en una important variabilitat en la freqüència amb la qual succeïrien aquests patrons.

A la figura següent es mostra l'evolució del nombre de dies previstos en els diferents escenaris considerats, per cadascun dels patrons analitzats.

Imatge 32: Evolució del nombre de dies “d’alta concentració” previstos per a cada període i per cadascun dels patrons més freqüents en els escenaris de canvi climàtic per l’ozó



Font: SMC

A les figures anteriors es pot veure que el comportament és desigual en els diferents escenaris i pels diferents patrons. El Patró que té major variabilitat respecte a la situació actual (37 dies), és el patró 1 el qual té tendència decreixent (-4 dies, un -11% al final del segle) en l'escenari RCP 4.5, mentre que pel RCP 8.5, s'incrementa significativament (32 dies, un 86%).

En el cas del patró 4, que és el més freqüent actualment (157 dies), a final de segle per l'escenari RCP 4.5 s'espera una forta tendència a l'augment del nombre de dies (+56 dies, un 36%), mentre que si es considera l'escenari RCP 8.5 l'increment és més moderat (+14 dies, un 9%)

En general, els resultats, pel període 2081-2095, mostren un increment global de 33 i 35 dies (12-13%) en els escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5 respectivament.

Respecte a la mitjana anual de 18 dies "d'alta concentració" en la situació actual (2006-2020), l'increment suposaria, al final del segle, entre 2 i 3 dies més de mitjana anual en els escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5 respectivament.

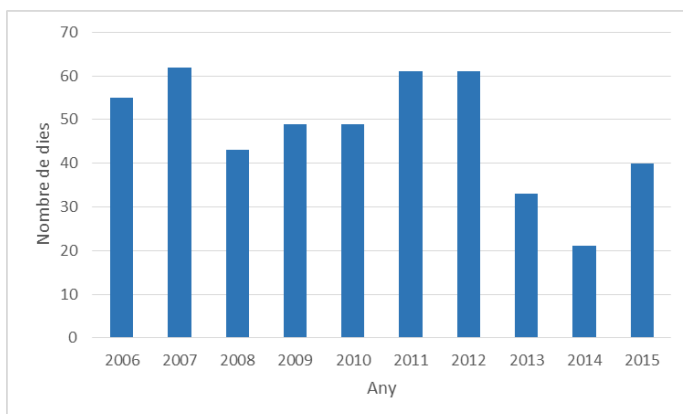
2.4.3. SITUACIONS SINÒPTIQUES PER NO₂

2.4.3.1. Identificació de les situacions sinòptiques

Per la identificació de les situacions sinòptiques pel NO₂ s'han analitzat les estacions del Àrea Metropolitana de Barcelona, que van a superar els valors de tall per NO₂ de la Taula 1: Ciutadella, Eixample, Gracia, Palau Reial, Poblenou, Sants, Vall d'Hebron, totes a Barcelona, a més de les estacions de Barberà del Vallès (Moragues), Badalona (Ausiàs M.), Cornellà (Allende), Montcada i Reixac (M. Companys), El Prat (Jardins), Sant Adrià del Besòs (Canal Olímpic), Hospitalet de Llobregat (Torrent), Sant Vicenç dels Horts (Ribot S.M.) al període 2006 – 2015.

Per aquestes estacions s'han identificat 474 dies "d'alta concentració", la qual cosa correspon a prop de un 13% del total de dies del període. A la figura es mostra el nombre de dies per any identificats per als NO₂.

Imatge 33: Nombre de dies "d'alta concentració" al període (2006-2015) per NO₂



Font: Barcelona Regional

2.4.3.2. Caracterització de les situacions sinòtiques

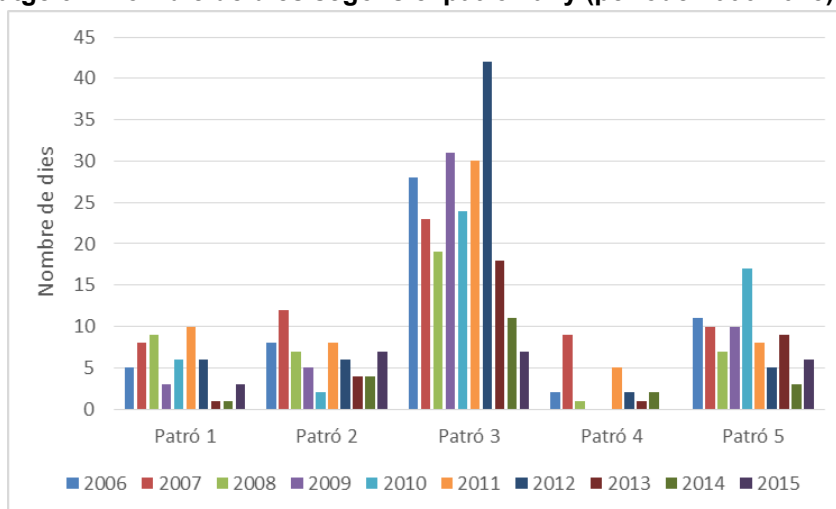
Una vegada s'han identificat els dies d'alta concentració de NO₂, a partir de les dades del model global 20CRv2, s'han obtingut un conjunt de 5 patrons comuns per 456 dels 474 dies identificats. A la taula i figura següents es mostra el nombre de dies i el percentatge de cadascun dels patrons.

Taula 4: Nombre de dies segons el patró per als NO₂ (període 2006-2015)

Patró	Nombre	Percentatge
PAT 1	52	11.4%
PAT 2	63	13.8%
PAT 3	233	51.1%
PAT 4	22	4.8%
PAT 5	86	18.9%
Total	456	100%

Font: SMC i Barcelona Regional

Imatge 34: Nombre de dies segons el patró i any (període 2006-2015) NO₂

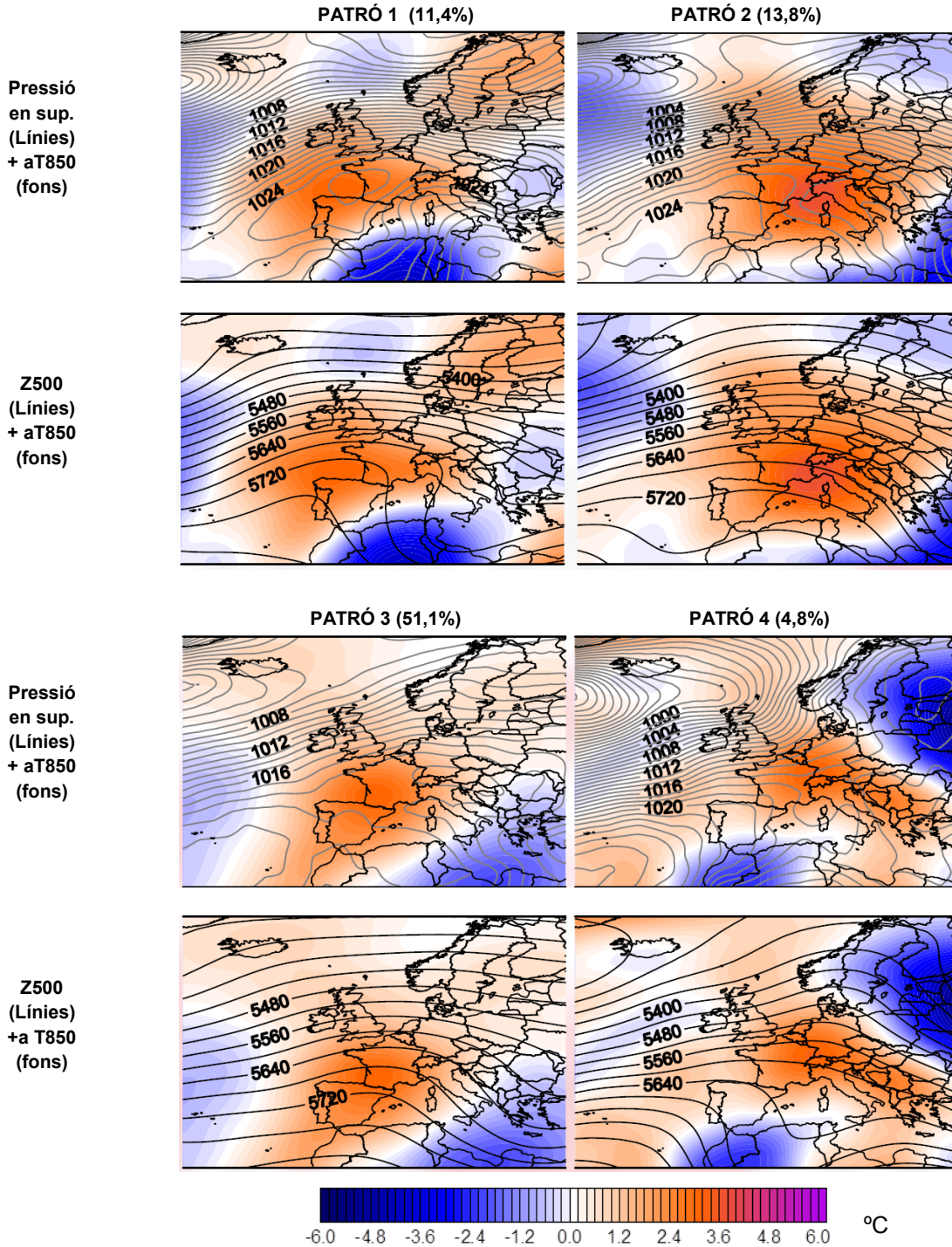


Font: SMC i Barcelona Regional

Com es pot veure a les dades anteriors el patró 3 destaca amb un 51% dels dies, seguit pel patró 5 amb prop de 19%.

A la figura següent es mostren els 5 patrons identificats amb la representació de la pressió atmosfèrica a superfície (figura superior), l'alçada geopotencial a 500 hPa (Z500 figura inferior) i aT850 (anomalies de temperatura a 850 hPa). Per cadascun dels patrons es mostra el percentatge de dies en que succeeixen.

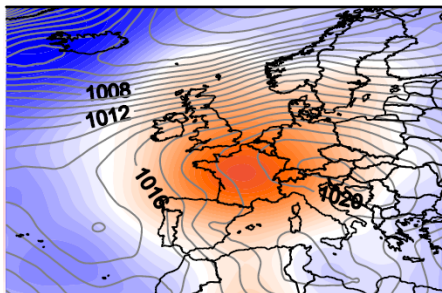
Imatge 35: Patrons sinòptics pels 456 dies d'estudi de NO₂ a Barcelona (2006-2015) Pressió atmosfèrica (hPa) línies i aT850 (°C) fons



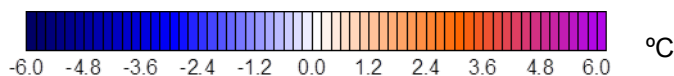
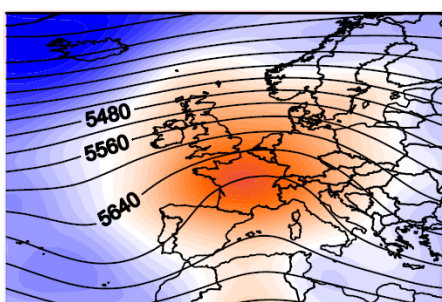
Font: SMC

Imatge 36: Patrons sinòptics pels 456 dies d'estudi de NO₂ a Barcelona (2006-2015) Pressió atmosfèrica (hPa) línies i aT850 (°C) fons, continuació
PATRÓ 5 (18,9%)

Pressió
en sup.
(Línies)
+ T850
(fons)



Z500
(Línies)
+ T850
(fons)



Font: SMC

Els patrons sinòptics més freqüents són el patró 3 (51%) i el patró 5 (19%) que en general mostren unes condicions amb pressions molt més elevades sobre Catalunya, al voltant dels 1024 -1028 (hPa) i amb l'anticicló molt més estès sobre la península. Es pot observar també una major separació de les isòbares en superfície, el que es tradueix en condicions molt estables (anticicló dinàmic).

També es pot apreciar una zona de baixa pressió localitzada sobre Islàndia que provoca una circulació d'aire fred sobre Europa⁵, la qual cosa genera vents freds sobre el continent i pressiona les capes inferiors afavorint les condicions d'estabilitat (anticicló tèrmic).

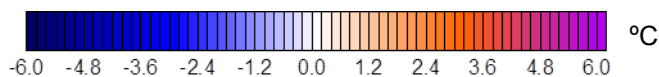
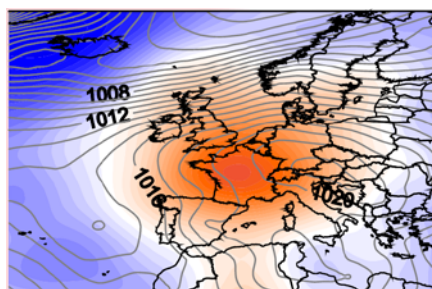
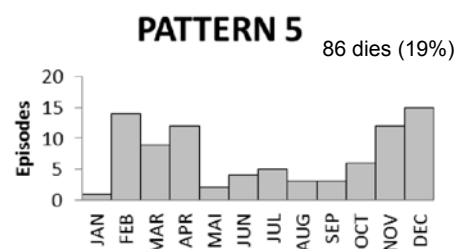
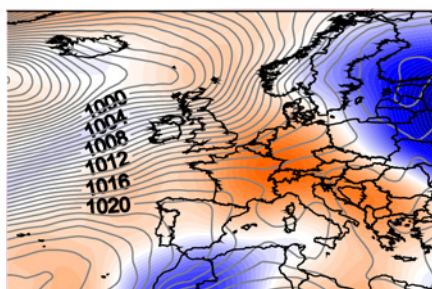
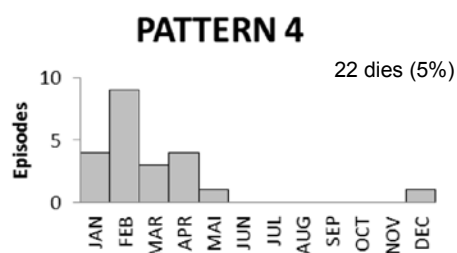
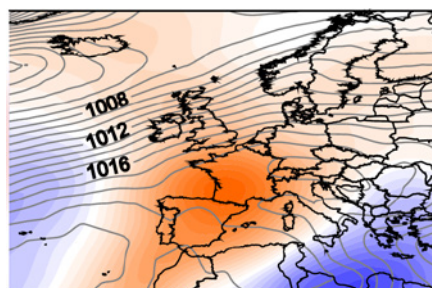
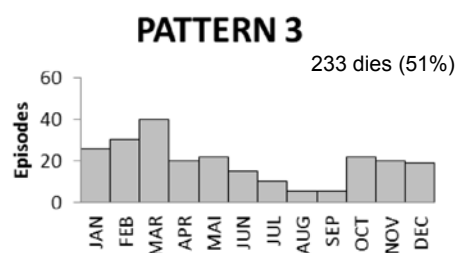
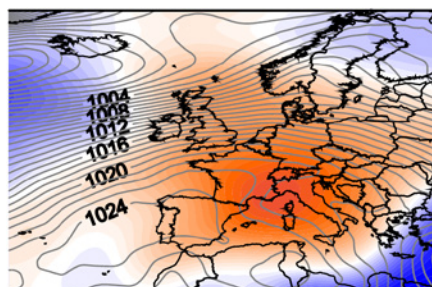
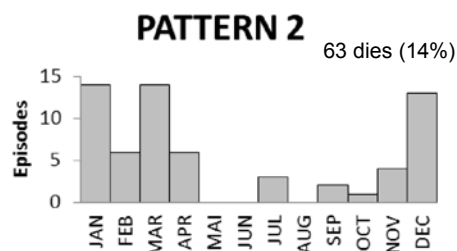
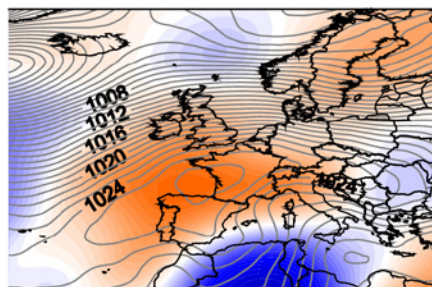
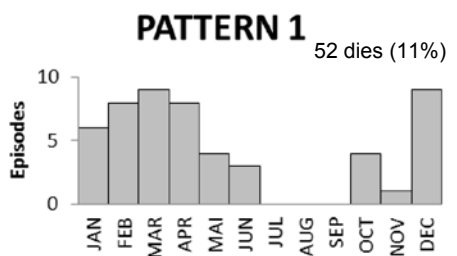
Alguns d'aquests patrons són molt semblants, pel que respecte a la pressió als que s'han vist per les partícules, com és el cas del patró 10 de partícules i el patró 1 de NO₂, no obstant, el camp d'anomalies de temperatura és molt més fred per aquest últim contaminant.

Aquest comportament es veu reflectit els mesos de l'any on es concentren aquestes situacions episòdiques, com es pot veure a la figura següent, on es mostra la distribució anual dels patrons, la representació de la pressió en superfície (hPa) (línies), a més de les anomalies de temperatura a 850 hPa (colors de fons).

⁵ L'aire fred o sec és més dens que el càlid o humit, la massa d'aire més densa flueix cap a les zones més càlides i humides. El vent serà més fort a mesura que augmenti la diferència de pressions (JetStream (2008)).

Per cadascun dels patrons es mostra el nombre de dies i el percentatge que representen respecte al total de dies en que succeeixen.

Imatge 37: Distribució anual dels patrons més freqüents pel NO₂



Font: SMC

Com es pot veure a la figura anterior el nombre més elevat de dies “d’alta concentració” correspon als períodes de primavera i hivern, i dintre d’aquests destaquen els mesos de març i desembre respectivament.

2.4.3.3. Anàlisi de les trajectories pel NO₂

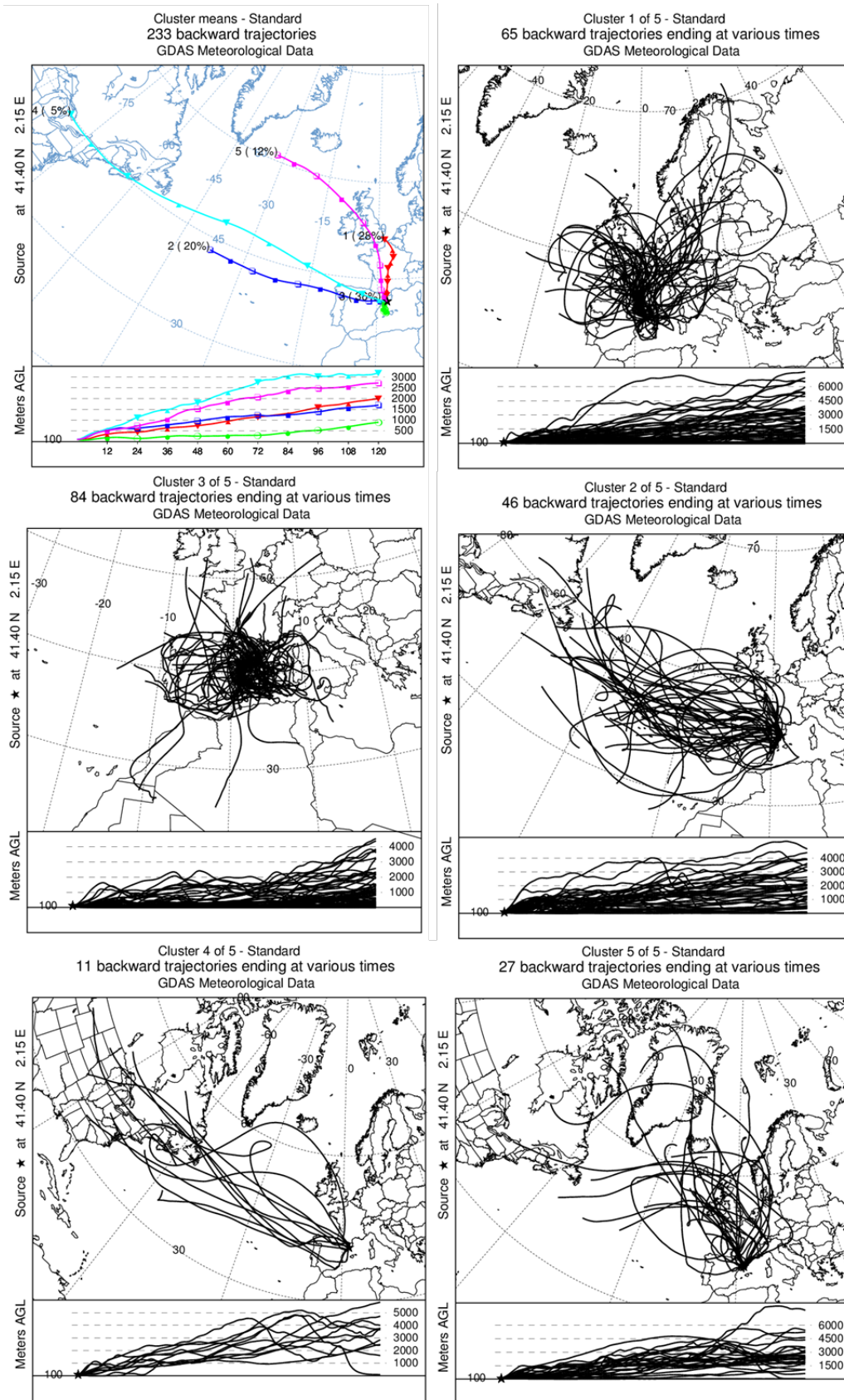
A diferència dels altres dos contaminants analitzats, PM₁₀ i O₃, el NO₂ és un contaminant majoritàriament d’origen antròpic, per la qual cosa els seus majors nivells de concentració es troben a prop de la font d’emissió, i en situacions d’estabilitat atmosfèrica es concentren a les proximitats d’aquestes, la qual cosa suposa una acumulació regional, degut a l’estancament de les masses d’aire.

En aquest sentit, l’anàlisi de les retro-trajectòries amb el model HYSPLIT, permet veure com moltes d’aquestes masses d’aire romanen estancades durant el període analitzat (120 hores prèvies) i es re-circulen al voltant del Mediterrani, incrementant les concentracions de fons a nivell regional. En aquest cas les retro trajectòries es presenten a 100 m d’alçada, ja que degut a les altres pressions la capa de mescla es troba propera a la superfície.

Les figures següents mostren la caracterització d’acord amb les trajectòries i el seu anàlisi clúster pels dos patrons més freqüents, patrons 3 i 5, els quals sumen un 70% dels dies identificats.

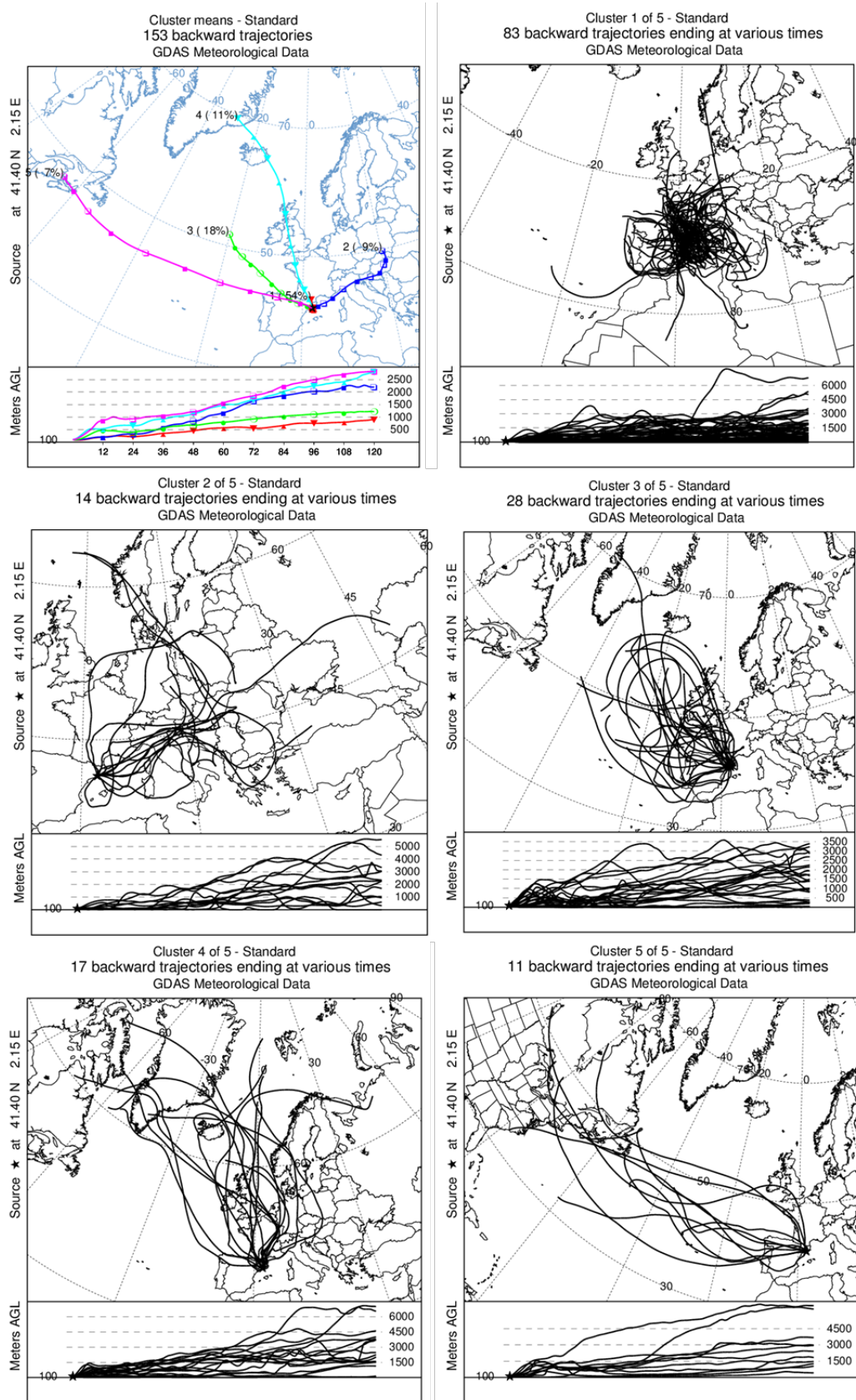
El primer mapa mostra els clústers mitjans, així com el número del clúster i la seva contribució en percentatge, es diferencia per colors les trajectòries mitjanes de cadascun dels clusters (centroide). A continuació, en els mapes en blanc i negre es dibuixen les trajectòries individuals per cadascuna de les trajectòries que conformen cada clúster. Per totes aquestes, és mostra a la part de baix la trajectòria en alçada per les 120 hores prèvies analitzades.

Imatge 38: Caracterització del patró 3 de NO₂ d'acord amb les retro-trajectòries i el seu anàlisi-clúster amb el model HYSPLIT a 100 m d'alçada.



Font: Barcelona Regional amb el model HYSPLIT i dades de GDAS

Imatge 39: Caracterització del patró 5 de NO₂ d'acord amb les retro-trajectòries i el seu anàlisi-clúster amb el model HYSPLIT a 100 m d'alçada.



Font: Barcelona Regional amb el model HYSPLIT i dades de GDAS

A les figures anteriors es pot veure que en general hi ha una contribució important de les trajectòries que tenen un flux des de l'Atlàntic, que a l'hivern inclús pot provenir d'Amèrica del Nord, degut a la ubicació d'un centre de baixa pressió prop d'Islàndia que impulsa aire fred sobre Europa.

Aquestes corrents fredes en alçada, les quals són més denses (major humitat i menor temperatura), contribueixen a pressionar les capes baixes de l'atmosfera incrementant la pressió atmosfèrica en superfície i per tant afavorint les condicions d'estabilitat, la qual cosa incideix en trajectòries de curt recorregut, que són responsables de la recirculació de la massa d'aire contaminat i per tant de l'increment de la concentració a nivell regional, que es suma a les emissions locals, i que en funció de la durada de la situació d'estabilitat pot suposar la superació dels límits legals.

2.4.3.4. Efecte del canvi climàtic sobre les situacions sinòptiques identificades per l'ozó.

Una vegada s'han caracteritzat els patrons, s'ha analitzat com aquests podrien canviar la seva freqüència i la seva intensitat, en els escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5.

En les figures següents es mostra la caracterització present dels patrons 3 i 5, que són els més freqüents, i la seva evolució per períodes de 15 anys en els dos escenaris de canvi climàtic considerats.

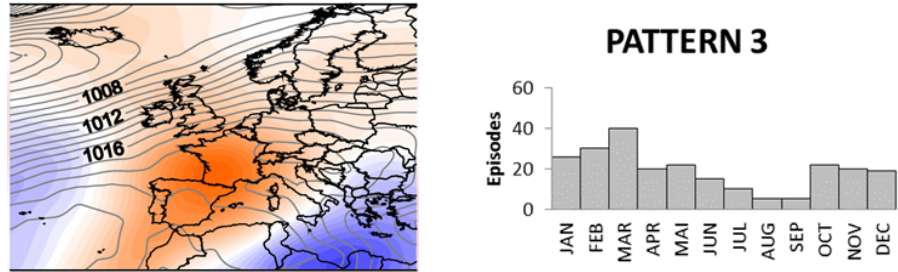
En la part superior de cadascuna de les figures es mostra la caracterització del patró pels dies "d'alta concentració", segons el model The 20th Century Reanalysis V2 (20CR), amb la representació dels camps de pressió atmosfèrica en superfície (hPa), les anomalies de temperatura a T850 (°C), i el nombre total de dies per mesos del període amb observacions.

Posteriorment es mostra la previsió que conté, per períodes de 15 anys, l'evolució prevista del patró en els escenaris de canvi climàtic de IPCC (2013) RCP 4.5 (2006 – 2095) i RCP 8.5 (2006 – 2095). En cadascun d'aquestes períodes, es mostra l'evolució de les anomalies de temperatura a T850.

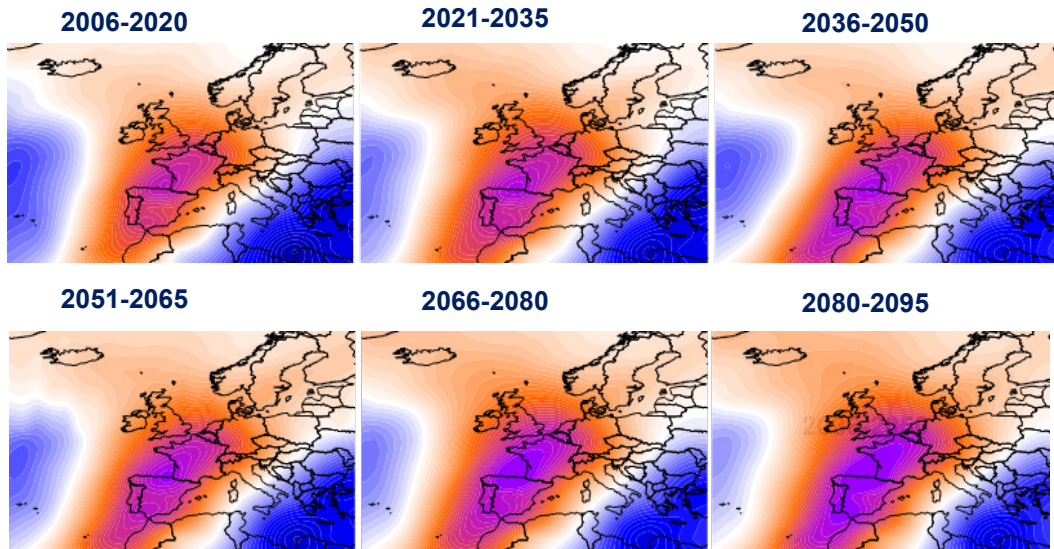
Després dels mapes, es mostra també l'evolució del nombre de dies previstos en els escenaris més freqüents

Imatge 40: Evolució del patró 3 en els escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5 (2006-2015) per al NO₂

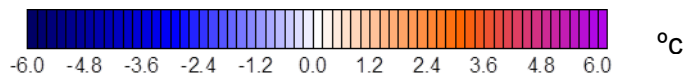
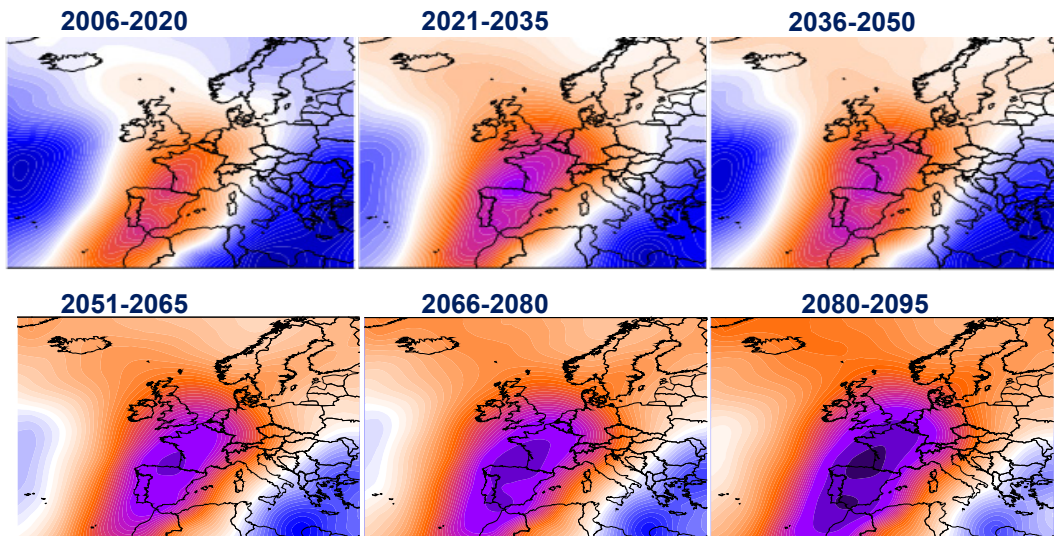
Observacions 2006-2015 (233 episodis)



Previsió aT850 en RCP 4.5 (2006-2015)



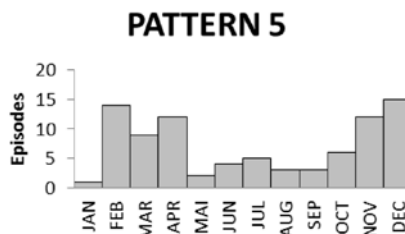
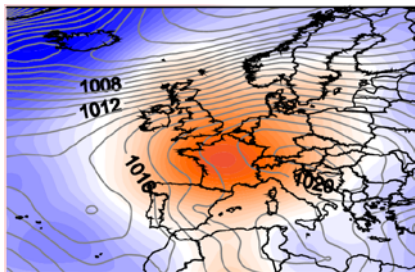
Previsió aT850 en RCP 8.5 (2006-2015)



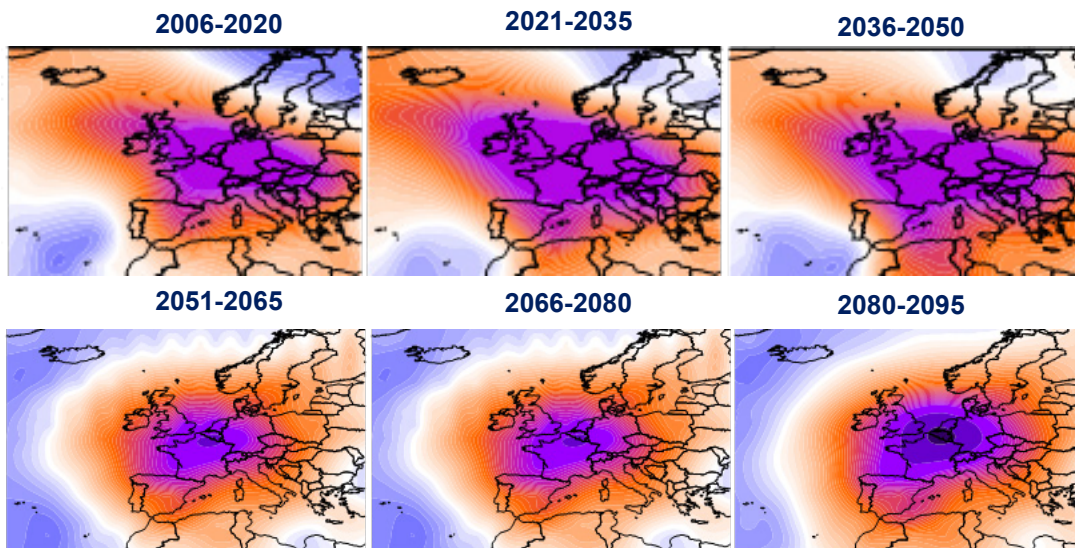
Font: SMC

Imatge 41: Evolució del patró 5 en els escenaris de canvi climàtic RCP 4.5 i RCP 8.5 (2006-2015) per a les PM₁₀

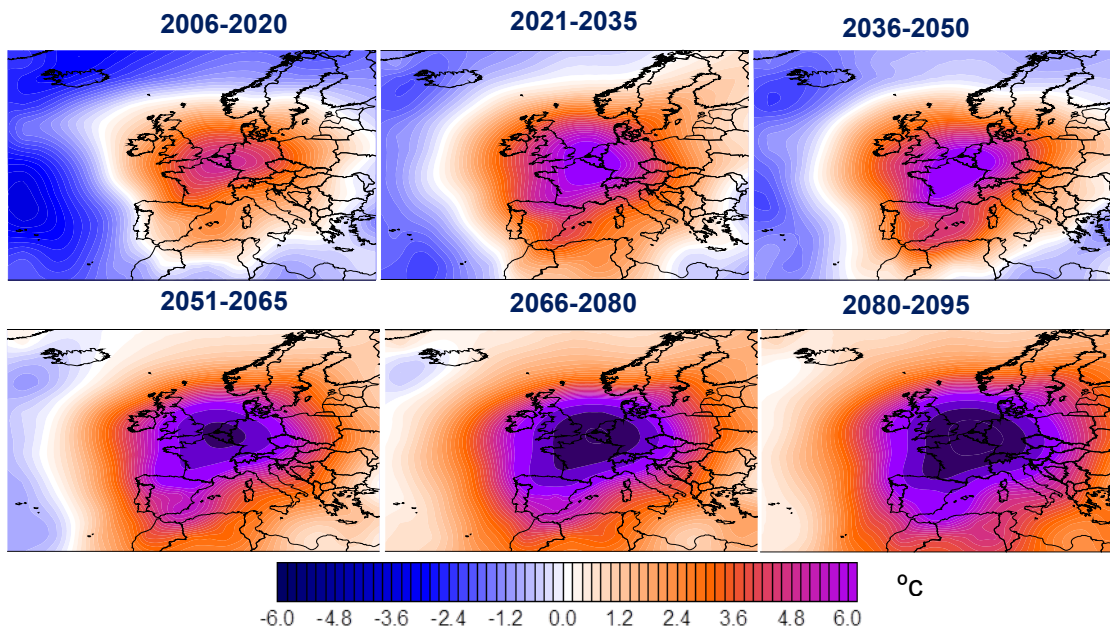
Observacions 2006-2015 (86 episodis)



Previsió aT850 en RCP 4.5 (2006-2015)

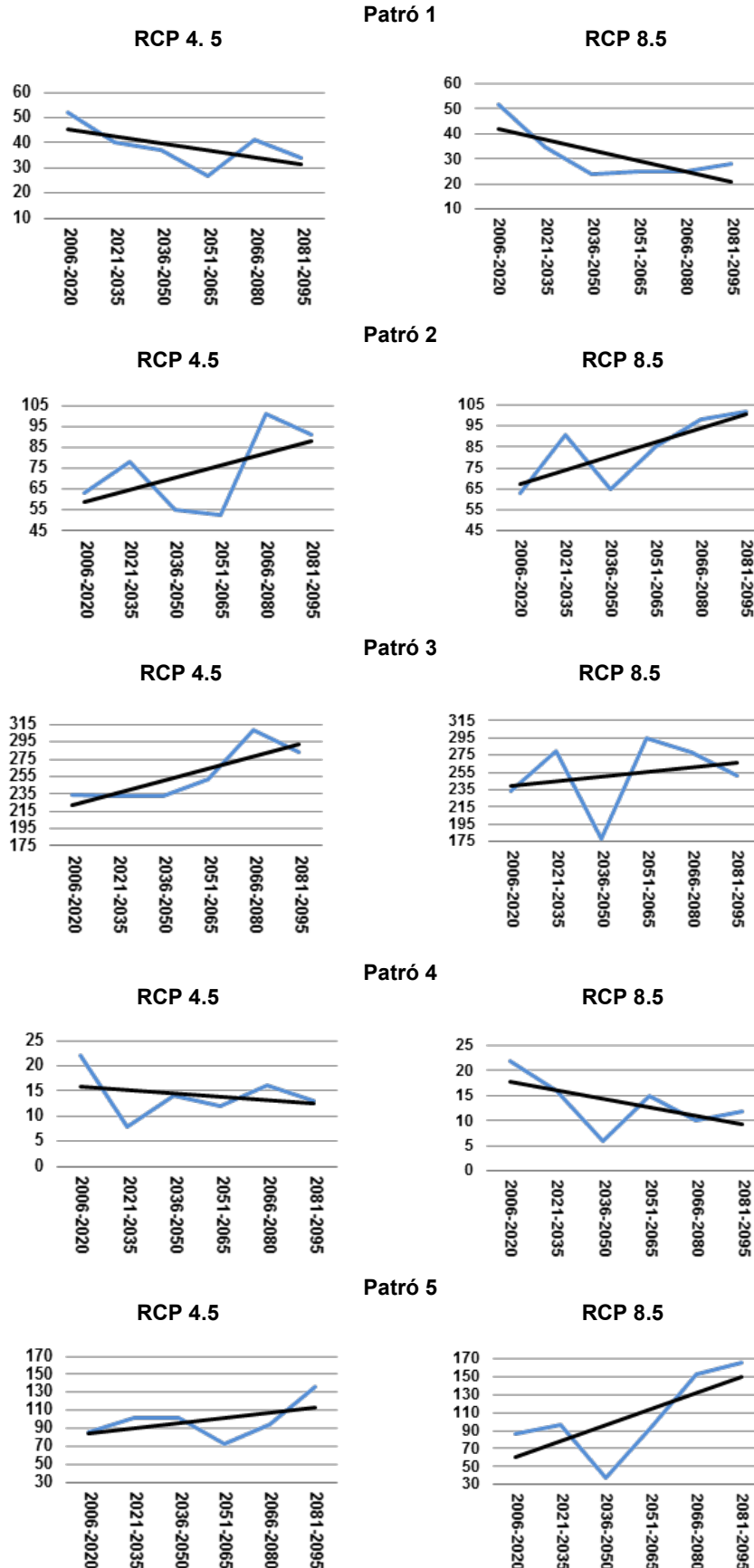


Previsió aT850 en RCP 8.5 (2006-2015)



Font: SMC

Imatge 42: Evolució del nombre de dies “d’alta concentració” previstos per cada període i per cadascun dels tres patrons més freqüents en els escenaris de canvi climàtic considerats pel contaminat NO₂.



Font: SMC

A les gràfiques es pot comprovar que per als patrons de NO₂ que tenen major contribució (patrons 2, 3 i 5), es mostra una tendència a l'increment en el nombre de dies, mentre que els patrons minoritaris (1 i 4) la tendència és decreixent.

El patró 3 que és actualment el més freqüent (234 dies), al final de segle, per l'escenari RCP 4.5 té una forta tendència a l'augment (49 dies, un 21%), mentre que a l'escenari RCP 8.5, l'increment és més moderat (17 dies, un 7%).

El patró que més incrementaria el nombre de dies a final de segle és el patró 5. Per l'escenari RCP 4.5 preveu un increment de 58% (50 dies), i per l'escenari RCP 8.5 preveu un increment encara major (93% o 80 dies), actualment es presenten 86 dies.

En general, a final del segle s'espera un increment global del 22% en tot dos escenaris, la qual cosa suposa 100 i 102 dies en els escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5 respectivament.

Pel que fa a la mitjana anual de 30 dies en la situació actual (2006-2020), aquest increment suposaria uns 7 dies "d'alta concentració" a afegir a la mitjana anual (en tots dos escenaris), no obstant això, aquest contaminant es el que té més possibilitats de reduir-se per efecte del desenvolupament tecnològic.

2.5. ANÀLISI DELS EFECTES DE LA METEOROLOGIA LOCAL SOBRE LA QUALITAT DE L'AIRE

La qualitat de l'aire a la ciutat depèn de diversos factors entre ells, a part de les emissions de la pròpia ciutat o al voltant d'aquesta, el factor meteorològic.

Considerant aquest últim aspecte, l'objectiu d'aquest apartat és:

- Identificar quines són les variables meteorològiques locals que més incideixen sobre la qualitat de l'aire i de quina manera ho fan.
- Preveure, considerant la meteorologia dels escenaris de futur, quin serà l'efecte sobre la concentració d'NO₂, PM₁₀ i O₃ (sota la consideració d'inventari d'emissions fix).

Tanmateix, per tenir un punt de vista més ampli, també s'analitzarà la qualitat de l'aire d'estacions externes a Barcelona.

Els últims avenços en l'anàlisi de sensibilitat de la qualitat de l'aire vers al canvi climàtic han portat a utilitzar diferents eines estadístiques que permeten veure la influència de la meteorologia sobre la qualitat de l'aire aïllant altres factors influents.

En aquest capítol s'utilitza una d'aquestes eines estadístiques: el model GAM (**Generalized Additive Model**), que permetrà determinar la influència de la meteorologia local sobre la concentració a l'aire dels contaminants: O₃, NO₂ i PM₁₀. Aquests models han estat utilitzats per altres autors per descriure també la relació entre qualitat de l'aire i meteorologia, exemples els podem trobar en: “*Quantifying the influence of local meteorology on air quality generalised additive modelling*” (Jonh L. Pearce, Jason Beringer i altres, Atmospheric environment 45 1328-1336 (2011)), “*Influence of meteorology on PM₁₀ trends and variability in Switzerland from 1991 to 2008*” (I. Barmpadimos, C. Hueglin, i d'altres, atmospheric Chemistry and Physics, 1813-1835, 2011), “*Using a generalized additive model to quantify the influence of local meteorology on air quality in Zagreb*” (andreina Belusic, Ivana Herceg-Bulic i Zvezdana Bencetic Klaić, GEOFIZIKA VOL.32, 2015).

Aquest capítol introduirà i definirà què és un model GAM, descriurà la metodologia emprada, analitzarà els principals resultats obtinguts dels models GAM, per finalment estimar quin serà l'efecte sobre la qualitat de l'aire suposant les dades climàtiques futures per l'àrea de Barcelona.

2.5.1. INTRODUCCIÓ ALS MODELS GAM

Els models GAM⁶ (models additius generalitzats), són una ampliació dels models tradicionals de regressió lineal o polinòmica ja que permeten treballar amb la no linealitat i amb regressió no paramètrica, fet que resulta extremadament adequat en el cas que ens ocupa per la seva flexibilitat.

La construcció d'un model es basa en l'entrenament d'aquest amb dades històriques, per tant es requereixen moltes dades perquè el model pugui aprendre de totes les casuístiques possibles. El model requereix de la introducció de variables de predicció (per exemple dades meteorològiques), i de la variable a analitzar o de sortida (per exemple concentració d'un determinat contaminant). Posterior a l'entrenament, el model serà capaç de preveure la variable de sortida si li són introduïdes les variables d'entrada.

A més, dels models GAM, es pot dir que són models interpretables (no són caixes negres com alguns altres models estadístics) ja que són capaços d'analitzar i mostrar la influència marginal o individual de cadascuna de les variables d'entrada sobre la variable de sortida i a més permeten mantenir l'estructura additiva o sumatòria dels models lineals. En aquest sentit, quan es construeix un model utilitzant les dades, el model intenta trobar quin efecte té cada variable d'entrada (predictors) sobre la variable de sortida, de forma que cadascun dels predictors expliqui el millor possible la part o influència sobre la variable de sortida no explicada pels altres predictors.

En el nostre cas el model GAM podrà determinar la influència individualitzada de cadascuna de les variables meteorològiques sobre la concentració del contaminant analitzat.

Els models GAM estan construïts per la suma (o addició) de funcions suavitzades (*splines*) de les variables d'entrada.

Per tant la clàssica equació de regressió multivariable següent:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n + \varepsilon$$

On:

y = és la variable a estimar

x_i = són les variables predictores

β_i = és la pendent associada a cada variable predictora i s'ha d'estimar amb les dades

ε = és l'error

⁶ models desenvolupats per Hastie i Tibshirani (1990)

En un model GAM queda transformada per un model no lineal i no paramètric:

$$y = I_0 + s_1(x_1) + s_2(x_2) + \dots + s_n(x_n) + \varepsilon$$

On:

y = és la variable a estimar

I_0

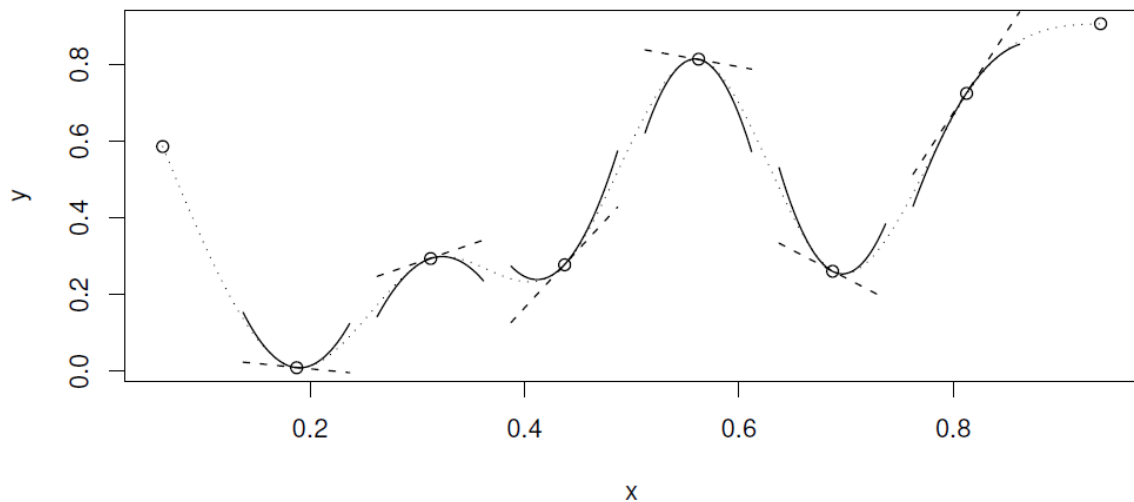
= és el valor d'intercepció amb l'eix vertical d'ordenades sense considerar l'efecte de de les variables predictores: x_i

s_i =

són les funcions no lineals (*splines*) que pretenen explicar la variació de y per cada variable predictora: x_i

Així la construcció d'un model GAM es basa en la suma de funcions *spline*. Per exemple una *spline* cúbica (el tipus d'*spline* més utilitzat) és una corba construïda en base a la suma de trossos o seccions de polinomis cúbics units de tal manera que mantenen la continuïtat en tota la corba.

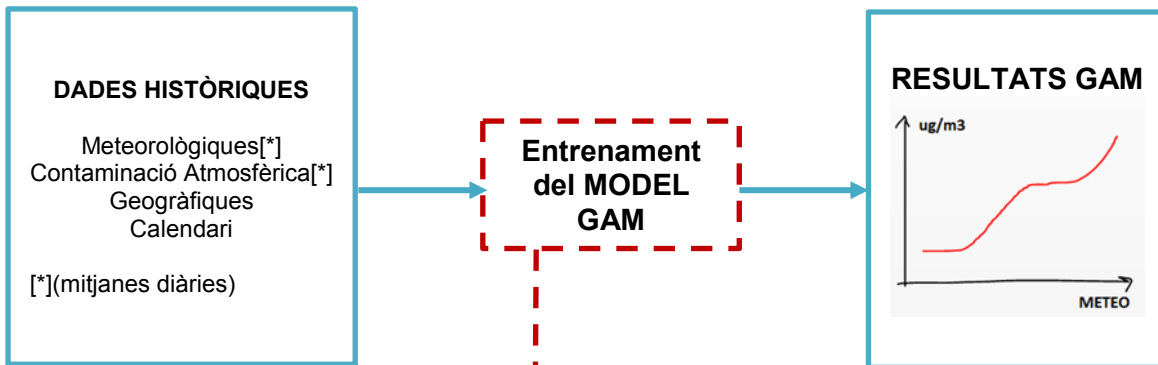
Imatge 43: Exemple de corba spline formada per set seccions cúbiques



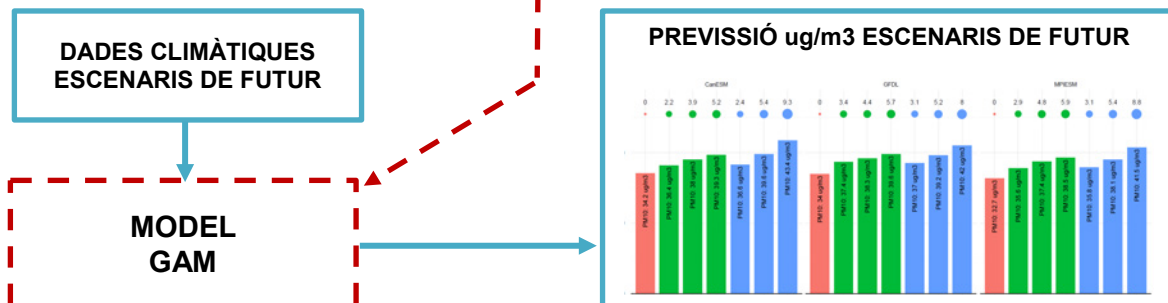
Font: Generalized Additive Models. An introduction with R. Simon N. Wood

2.5.2. METODOLOGIA

Primer s'entrena el model algorítmic, per cada estació de la XVPCA i per cada contaminant, amb dades històriques de contaminació atmosfèrica, meteorològiques i geogràfiques. Un cop entrenat, el model permet extreure la relació que hi ha entre les variables meteorològiques i la contaminació.



Un cop el model està entrenat se l'introdueixen les dades climàtiques dels escenari de futur i el model preveu quina és la contaminació atmosfèrica que hi hauria amb el canvi meteorològic.



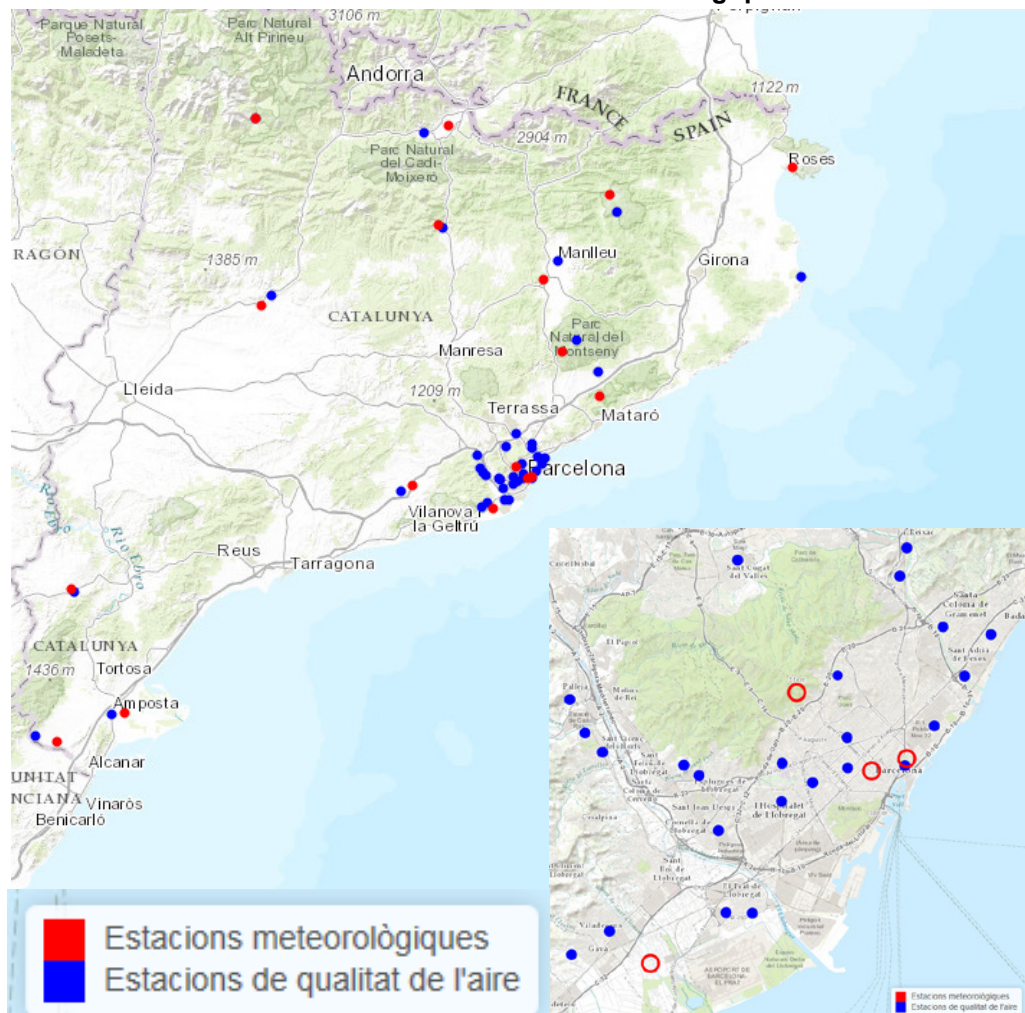
2.5.3. DADES UTILITZADES PER MODELITZAR

Bàsicament s'han introduït al model GAM les següents variables d'entrada o predictors:

- Dades de qualitat de l'aire des de 1992 fins al 2015 de **39 estacions de la XVPCA** de tot Catalunya (7 estan a Barcelona).
- Dades meteorològiques (temperatura, humitat relativa, pressió atmosfèrica, radiació solar i precipitació) des de 1990 fins al 2015 de **20 estacions de METEOCAT** de tot Catalunya (3 estan a Barcelona)

S'ha partit d'un total de 7,2 milions de registres de dades horàries i semihoràries de qualitat de l'aire i 4,6 milions de registres de dades meteorològiques que han estat convertides i ajuntades en una única base de dades diària amb més de 120.000 registres diaris. S'ha escollit introduir en el model les dades diàries degut a que sembla la resolució temporal més adequada a l'abast del treball.

Imatge 44: Ubicació de les estacions de la XVPCA i meteorològiques considerades



Font: Barcelona Regional.

A més també s'ha introduït al model altres variables com dades de calendari per disposar de l'efecte cíclic i temporal dels possibles efectes de la contaminació o geogràfiques que

representin la diferència de comportament de la qualitat de l'aire entre els diferents indrets. A l'annex 6.4 es descriuen cadascuna d'elles.

2.5.4. MODELITZACIÓ

S'ha generat un model GAMS per cadascun dels contaminants a analitzar (O₃, NO₂ i PM₁₀) i per cadascun de les següents agrupacions d'estacions de qualitat de l'aire:

- Estacions de la XVPCA dins de BARCELONA
- TOTES les estacions de la XVPCA considerades (dins i fora de Barcelona)
 - Estacions de la XVPCA de TRÀNSIT
 - Estacions de la XVPCA INDUSTRIALS
 - Estacions de la XVPCA de FONTS
 - Estacions de la XVPCA de FONTS URBANES
 - Estacions de la XVPCA de FONTS SUBURBANES
 - Estacions de la XVPCA de FONTS RURALS

La fórmula utilitzada per les modelitzacions és:

$$y_i = I_0 + s(\text{longitud}, \text{latitud}) + s(\text{altitud}) + s(\text{any}) + s(\text{mes}) + s(\text{dia}, \text{setmana}) + s(T) + s(HR) + s(RS_Wh_al_dia) + s(P2) + s(\log(PPT\text{dia} + 1)) + s(y_{i-1}) + \varepsilon$$

On:

y_i
= és la concentració mitjana diària de O₃, NO₂ o PM₁₀ del dia i i per cada estació de la XVPCA a estudiar

I_0
= és el valor de la concentració de O₃, NO₂ o PM₁₀ sense considerar l'efecte marginal de les variables predictores $s(x_i)$

$s(\text{longitud}, \text{latitud})$ = funció spline de la latitud i longitud de l'estació de la XVPCA

$s(\text{altitud})$ = funció spline de l'alçada de l'estació de la XVPCA

$s(\text{any})$ = funció spline de l'any de les dades

$s(\text{mes})$ = funció spline del mes de l'any de les dades (de 1: gener a 12: desembre)

$s(\text{dia}, \text{setmana})$ = funció spline del dia de la setmana (de 1: dilluns a 7: diumenge)

$s(T)$ = funció spline de la temperatura mitjana diària

$s(HR)$ = funció spline de la humitat relativa mitjana diària

$s(RS_Wh_al_dia)$ = funció spline de la radiació solar acumulada diària

$s(P2)$ = funció spline de la pressió atmosfèrica tal com s'ha explicat en un capítol anterior

$s(\log(PPT\text{dia} + 1))$ = funció spline de la precipitació acumulada diària transformada a logaritme

$s(y_{i-1})$ = funció spline de la concentració mitjana del dia anterior del contaminant estudiat

A continuació es mostra una taula resum amb els resultats d'ajust dels models per cada contaminant on es pot veure, com per l'àmbit de les estacions de Barcelona, que els models GAM permeten explicar el 74,1% de la variabilitat diària de l'O₃, el 64,9% de la variabilitat diària dels NO₂ i el 61,3% de les PM₁₀:

Taula 5: Estadístics del model GAM per cada àmbit o tipus: O₃

ÀMBIT	Nombre d'estacions analitzades	R ² del model
● BARCELONA	6	74,1%
● TOTES(*)	31	81,5%
○ TRÀNSIT	4	74,5%
○ INDUSTRIALS	1	73,2%
○ FONTS	26	81,5%
▪ FONTS URBANES	8	74,3%
▪ FONTS SUBURBANES	9	81,3%
▪ FONTS RURALS	9	83,2%

Font: Barcelona Regional. (*) es refereix a totes les estacions considerades en aquest estudi, no totes les existents

Taula 6: Estadístics del model GAM per cada àmbit o tipus: NO₂

ÀMBIT	Nombre d'estacions analitzades	R ² del model
● BARCELONA	7	64,9%
● TOTES(*)	30	75,6%
○ TRÀNSIT	4	64%
○ INDUSTRIALS	4	73,1%
○ FONTS	22	75%
▪ FONTS URBANES	11	57,5%
▪ FONTS SUBURBANES	9	74,6%
▪ FONTS RURALS	2	77,8%

Font: Barcelona Regional. (*) es refereix a totes les estacions considerades en aquest estudi, no totes les existents

Taula 7: Estadístics del model GAM per cada àmbit o tipus: PM₁₀

ÀMBIT	Nombre d'estacions analitzades	R ² del model
● BARCELONA	6	61,3%
● TOTES(*)	17	62,9%
○ TRÀNSIT	3	54,6%
○ INDUSTRIALS	3	49,4%
○ FONTS	11	67,3%
▪ FONTS URBANES	5	64,2%
▪ FONTS SUBURBANES	4	61,3%
▪ FONTS RURALS	2	62,7%

Font: Barcelona Regional. (*) es refereix a totes les estacions considerades en aquest estudi, no totes les existents

A continuació es passa a detallar l'efecte de les diferents variables o predictors sobre cadascun dels contaminants. L'anàlisi dels resultats es centrarà en l'àmbit Barcelona ja que és l'objecte d'aquest estudi.

2.5.4.1. Resultats per les PM₁₀

Les estacions utilitzades per determinar el model GAM per PM₁₀ a Barcelona són les recollides en la següent taula (inclou les estacions meteorològiques associades):

Taula 8: Estacions de la XVPCA analitzades a Barcelona i la seva meteo associada per PM₁₀

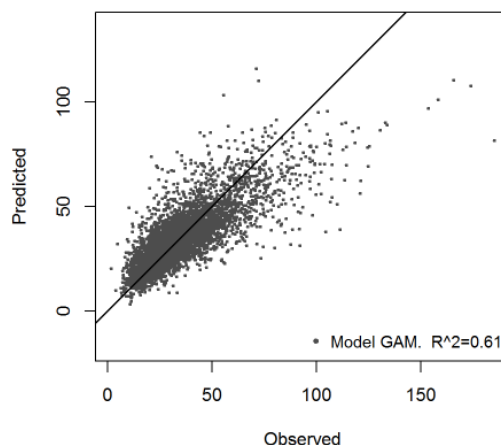
XVPCA			METEO ASSOCIADA	
BCN_VALL_HEBRON	URBANA	FONS	D5	Barcelona - Observatori Fabra
BCN_POBLENOU	URBANA	FONS	X2	Barcelona - Zoo
BCN_EIXAMPLE	URBANA	TRÀNSIT	X4	Barcelona - el Raval
BCN_GRACIA	URBANA	TRÀNSIT	X4	Barcelona - el Raval
BCN_PALAU_REIAL	URBANA	FONS	X4	Barcelona - el Raval
BCN_SANTS	URBANA	FONS	X4	Barcelona - el Raval

Font: Barcelona Regional.

El model GAM obtingut respecte la concentració diària mitjana de PM₁₀ a les estacions de Barcelona té un factor d'ajust de: $R^2=0,613$, per tant es capaç d'explicar la variabilitat diària de l'O₃ en un 61%.

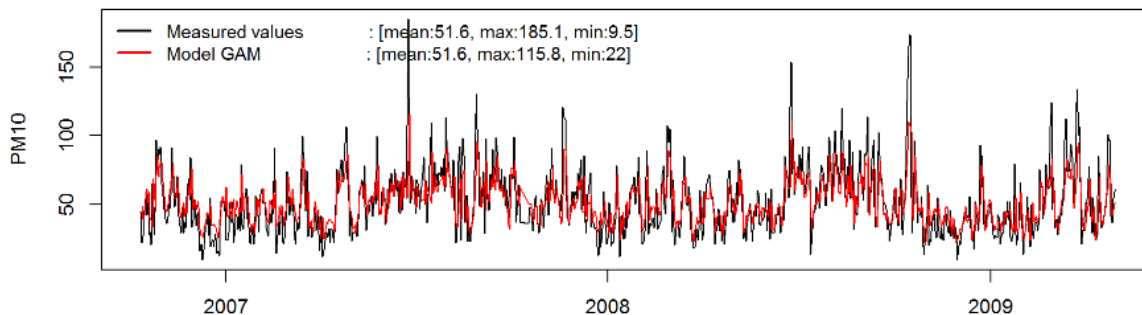
A continuació es mostra la correlació entre el model i les dades reals de PM₁₀.

Imatge 45: Correlació entre les dades del model GAM i les dades reals per les PM₁₀ a les estacions de Barcelona



Font: Barcelona Regional

A continuació, a mode d'exemple, també es representa la immissió diària de les dades del model GAM amb les dades reals per una estació concreta de la XVPCA.

Imatge 46: Resultats diàris de PM₁₀ del model GAM amb les dades reals per l'estació de fons urbana de la XVPCA de Sants

Font: Barcelona Regional

Tots els predictors utilitzats per ajustar el model són rellevants (p -value $< 2e-16$) pel model, incloent-hi la precipitació que no era rellevant pels altres dos contaminants, això vol dir que són importants i necessaris per explicar la variabilitat de PM₁₀. En canvi, en aquest cas, la radiació solar acumulada diària (amb un p -value = 0,056) és un valor molt alt indicant que no és rellevant pel model o poc significativa per explicar el comportament de PM₁₀.

A continuació es mostra un a un l'efecte marginal de les variables predictorres objectes de l'anàlisi⁷: variables meteorològiques i de calendari, a més de la concentració del dia anterior.

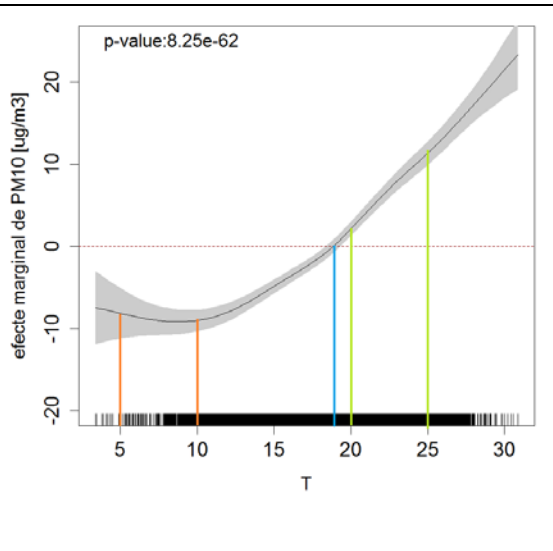
L'**efecte marginal** explica com varia la variable dependent (la concentració de contaminants: eix **y**), al variar la variable independent (eix **x**).

En l'exemple de la gràfica de la dreta, la variable dependent (**y**) és la concentració en mitjana diària de PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), i la variable independent (**x**) és la Temperatura (T).

El zero en l'eix **y** mostra on es situa la mitjana de la variable dependent (**y**), en l'exemple la mitjana de PM₁₀ al llarg de tot l'històric introduït al model GAM es situa quan la temperatura (T) és aprox. de 19°C (línia blava vertical).

En l'exemple es pot observar com un increment de la temperatura mitjana diària de 5 a 10°C implica una petita disminució en la concentració de PM₁₀.

En canvi un increment de 20 a 25°C de T sí que suposa un gran increment en la concentració mitjana diària d'uns +10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Per facilitar la comparació entre els efectes marginals es fixa el rang de l'eix "y" de totes els gràfiques.

⁷ No es representen les variables constants (latitud, longitud i alçada), inherents a cada estació

Imatge 47: Resultats de l'efecte marginal dels predictors per les PM₁₀ a les estacions de Barcelona

Font: Barcelona Regional

L'efecte marginal de la variable “any” (year) té una influència important sobre les partícules PM₁₀ (p-value = 4,9e-19), i un efecte marginal, que tot i relativament baix, denota una clara tendència a la disminució de la concentració de PM₁₀ especialment a partir del 2008.

Les variables “mes” i “dia de la setmana” també generen una influència important de cara al model GAM (p-values = 4e-47 i 3e-63 respectivament) amb un efecte marginal sobre les PM₁₀ (especialment el “mes”) de cara a la variabilitat de la immissió. Així a l'agost i els caps de setmana tenim baixades de més de 10 µg/m³ i 5 µg/m³ respectivament. Segurament degut a la disminució del trànsit circulatori de la ciutat o altres activitats pròpies (obres, indústria, etc...).

Respecte a les variables meteorològiques analitzades, la radiació solar diària, no és important per explicar la variabilitat de la concentració mitjana diària de PM₁₀ (p-value=5,6e-2) a més de tenir un efecte marginal pràcticament pla.

En canvi la temperatura té molta representativitat per explicar la variabilitat de les PM₁₀ (p-value=8e-62) mostrant alhora un efecte marginal gran amb un rang de -10 µg/m³ (a temperatures mitjanes diàries baixes), fins a +20 µg/m³ (a temperatures altes).

Per altre banda la humitat relativa i la pressió atmosfèrica (P2) també mostren efectes marginals de major concentració de PM₁₀ a major humitat o major pressió amb rangs de ±5 µg/m³ i ±10 µg/m³ respectivament.

La precipitació, mostra també un efecte marginal de menor concentració diària de PM₁₀ (fins a de -7 µg/m³) quan hi ha precipitació.

Finalment la concentració mitjana diària de PM₁₀ del dia anterior (PM10_lag1) és la variable amb més importància de cara a explicar el model (p-value=0), amb un efecte marginal també molt lineal i una pendent aproximadament de 0,6; o sigui que el 60% de la concentració mitjana diària en PM₁₀ és degut a la concentració que hi havia el dia anterior. Això vol dir que la reducció o increment de la concentració d'un dia determinant afectarà en aquesta proporció a la concentració del dia següent.

Taula 9: Resum de l'efecte de les variables avaluats per PM₁₀

Variable	p-value	Efecte marginal
Dia anterior	0	Molt alt
Dia de la setmana	3.16E-63	Molt alt
Temperatura	8.25E-62	Molt alt
Mes	4.19e-47	Alt
Pressió en superfície	1.73E-21	Mig
Any	4.97E-19	Mig
Precipitació	9.9E-17	Baix
Humitat relativa	1.2E-13	Baix
Radiació solar acumulada	5.61E-2	Baix

Font: Barcelona Regional

A l'annex 6.5 es mostren els efectes marginals de totes les estacions i àmbits analitzats.

2.5.4.2. Resultats per l'O₃

Les estacions utilitzades per determinar el model GAM per l'O₃ a Barcelona són les de la següent taula (inclou les estacions meteorològiques associades):

Taula 10: Estacions de la XVPCA analitzades a Barcelona i la seva meteo associada per O₃

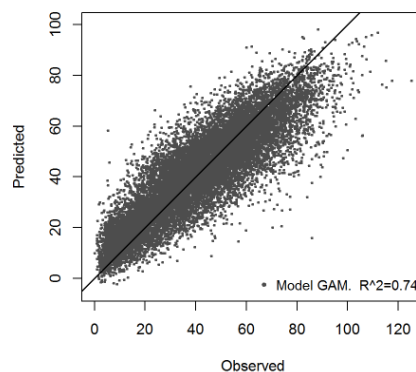
XVPCA			METEO ASSOCIADA	
BCN_VALL_HEBRON	URBANA	FONS	D5	Barcelona - Observatori Fabra
BCN_CIUADELLA	URBANA	FONS	X2	Barcelona - Zoo
BCN_POBLENOU	URBANA	FONS	X2	Barcelona - Zoo
BCN_EIXAMPLE	URBANA	TRÀNSIT	X4	Barcelona - el Raval
BCN_GRACIA	URBANA	TRÀNSIT	X4	Barcelona - el Raval
BCN_PALAU_REIAL	URBANA	FONS	X4	Barcelona - el Raval

Font: Barcelona Regional.

El model GAM obtingut i que relaciona la concentració diària mitjana d'O₃ a les estacions de la XVPCA de Barcelona prèviament llistades amb les dades meteorològiques té un factor d'ajust de: $R^2=0,741$, per tant és capaç d'explicar la variabilitat diària de l'O₃ en un 74%.

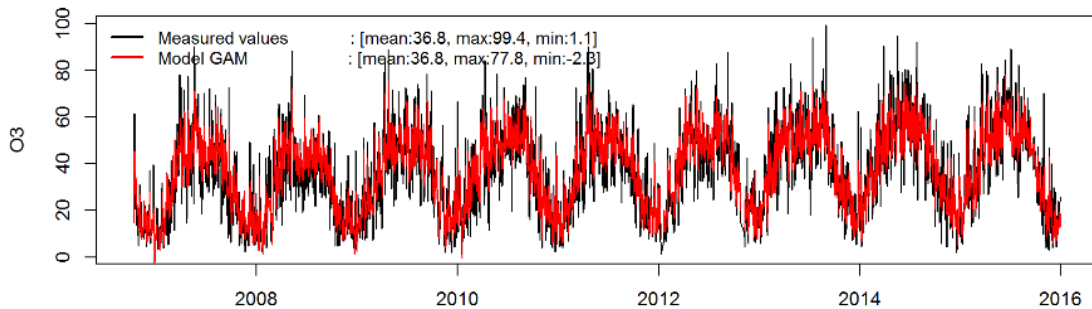
A continuació es mostra la correlació entre el model i les dades reals d'O₃.

Imatge 48: Correlació entre les dades del model GAM i les dades reals per a l'O₃ a les estacions de Barcelona



Font: Barcelona Regional

A continuació, a mode d'exemple, també es representa la immissió diària de les dades del model GAM amb les dades reals per una estació concreta de la XVPCA.

Imatge 49: Resultats diaris d' O₃ del model GAM amb les dades reals per a l'estació de trànsit urbana de la XVPCA de Gràcia

Font: Barcelona Regional

Tots els predictors utilitzats per ajustar el model són rellevants (p -value $< 2e-16$), això vol dir que són importants i necessaris per explicar la variabilitat de l'O₃. En canvi la precipitació (amb un p -value = 0,032) resulta un valor molt alt indicant que no és rellevant al model o poc significativa per explicar el comportament de l'O₃.

En el cas de la variable temperatura també obtenim un valor entremig (p -value = $5,34e-8$) que indica que tot i que és rellevant, no ho és tant com les altres variables predictores.

A continuació es mostra un a un l'efecte marginal de cadascuna de les variables predictores objectes de l'anàlisi⁸: variables meteorològiques i de calendari, a més de la variable que incorpora la concentració d'O₃ del dia anterior. Per facilitar la comparació entre els efectes marginals es fixa el rang de l'eix "y".

⁸ No es representen les variables constants (latitud, longitud i alçada), inherents a cada estació

Imatge 50: Resultats de l'efecte marginal dels predictors per l'O₃ a les estacions de Barcelona

Font: Barcelona Regional

De les gràfiques es pot observar com la variable “any” (year) té una influència forta sobre l'O₃ (p-value = 1,78e-53) però l'efecte marginal és baix sobre la concentració d'O₃ diària, es pot observar com hi ha un període d'increment marginal de l'O₃ entre els anys 2008 i 2013, per després tenir un període més pla. Tot i això l'efecte incremental en termes absoluts i comparat amb altres variables, és relativament petit.

La variable “mes” (month), sí que presenta una major variabilitat d'uns $\pm 7\mu\text{g}/\text{m}^3$ en mitjana diària d' O_3 , per tant en la primavera i estiu es presenta major concentració d' O_3 que en els mesos d'hivern. Aquest fet és lògic ja que es genera més O_3 als mesos de primavera per efecte de la vegetació tal com es pot observar en efecte marginal del model GAM de les 26 estacions de FONS analitzades. Per altre banda en els mesos d'estiu el model indica que les estacions de Barcelona presenten nivells alts d' O_3 , això té un comportament diferent al que succeeix a les estacions de FONS on l'efecte dels mesos d'estiu no influeix gaire sobre l' O_3 . Aquest efecte diferent respecte les estacions de fons segurament està relacionat amb la menor concentració d' NO_2 i NO_x que també s'observa a les estacions de la ciutat en els mesos d'estiu, ja que hi ha una clara relació química inversa entre l' O_3 i els NO_2 . És per això que l' O_3 de superfície està considerat com un contaminant secundari ja que no s'emet directament a l'aire, sinó que és creat per reaccions químiques entre els òxids de nitrogen (NO_x) i els compostos orgànics volàtils (VOC) en presència de llum solar. Les emissions procedents d'instal·lacions industrials i centrals elèctriques, gasos dels vehicles de motor, els vapors de gasolina i solvents químics són algunes de les principals fonts de NO_x i COV.

La variable “dia de la setmana” (weekday), de la mateixa manera que el “mes, té un comportament diferencial respecte a les estacions de FONS. En les estacions de la ciutat de Barcelona els dies de la setmana on hi ha major concentració diària d' O_3 són el dissabte i diumenge, segurament també degut a la menor concentració d' NO_2 al haver menys tràfic a la ciutat.

Per tant poden dir que el model GAM incorporant les variables de calendari: “any”, “mes” i “dia de la setmana”, implícitament incorpora el perfil horari de l'inventari d'emissions, ja que es veu un efecte diferenciador entre els efectes marginals de les estacions de FONS amb les de TRÀNSIT.

Respecte a les variables meteorològiques es troben les següents conclusions.

La influència de la temperatura sobre l' O_3 diari no és forta (de fet el p-value és de l'ordre de $5\text{e-}8$, lluny dels $2\text{e-}16$), i l'efecte marginal presenta lleugers increments amb l'increment de la temperatura mitjana diària.

En canvi la humitat relativa sí que té una influència forta (p-value = $5\text{e-}90$), i l'efecte marginal té un patró clar indicant que a major humitat relativa menor concentració diària d' O_3 , l'efecte en aquest cas té un rang d'uns $20\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La radiació solar acumulada diària també té un efecte directe sobre l' O_3 (p-value = $8\text{e-}20$), tot i que en aquest cas la variabilitat és relativament baixa ($\pm 3\mu\text{g}/\text{m}^3$) comparat amb alguna de les altres variables. Cal comentar que l' O_3 de les estacions de fons i fons urbanes estan més influenciades per la radiació solar que les estacions de trànsit, degut a que a la ciutat es destrueix molt ràpidament per la elevada concentració de NO per produir NO_2 , en canvi a la perifèria i a les zones rurals reaccionen amb els seus precursors incrementant la seva concentració.

La pressió (P2), té una variabilitat molt forta amb la concentració d' O_3 (amb un rang d'uns $30\mu\text{g}/\text{m}^3$), així i amb una efecte pràcticament lineal, a major pressió atmosfèrica resulta una menor concentració d' O_3 a l'inrevés.

Respecte la precipitació, tal com s'ha comentat abans, la seva influència sobre l' O_3 és baixa (p-value = $3\text{e-}2$), i l'efecte marginal és inapreciable.

Finalment la concentració mitjana diària d'O₃ del dia anterior (O3_lag1) de les analitzades és la variable amb més força (p-value=0), amb un efecte marginal molt lineal amb una pendent aproximadament de 0,5; o sigui que el 50% de la concentració mitjana diària d'O₃ és degut a la concentració que hi havia el dia anterior. Això vol dir que la reducció o increment de la concentració d'un dia determinant afectarà en aquesta proporció a la concentració del dia següent.

Al annex 6.5 es mostren els efectes marginals de totes les variables utilitzades.

Taula 11: Resum de l'efecte de les variables avaluats per O₃

Variable	p-value	Efecte marginal
Dia anterior	0	Molt alt
Dia de la setmana	6.91E-318	Molt alt
Mes	3.41E-191	Molt Alt
Humitat relativa	5.14E-90	Molt Alt
Pressió en superfície	8.54E-55	Alt
Any	1.78E-53	Alt
Radiació solar acumulada	8.38E-20	Mig
Temperatura	5.3E-08	Baix
Precipitació	3.18E-02	Baix

Font: Barcelona Regional

2.5.4.3. Resultats per NO₂

Les estacions utilitzades per determinar el model GAM pels NO₂ a Barcelona són les de la següent taula (inclou les estacions meteorològiques associades):

Taula 12: Estacions de la XVPCA analitzades a Barcelona i la seva meteo associada per NO₂

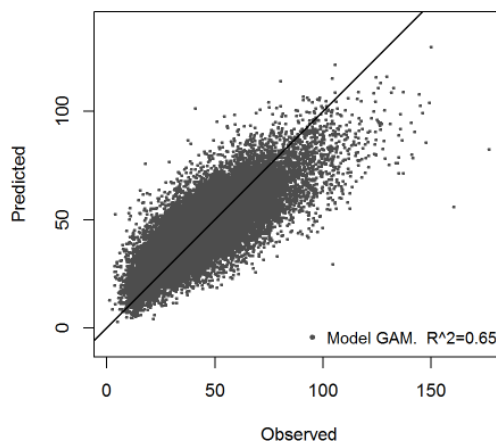
XVPCA			METEO ASSOCIADA	
BCN_VALL_HEBRON	URBANA	FONS	D5	Barcelona - Observatori Fabra
BCN_CIUDELLA	URBANA	FONS	X2	Barcelona - Zoo
BCN_POBLENOU	URBANA	FONS	X2	Barcelona - Zoo
BCN_EIXAMPLE	URBANA	TRÀNSIT	X4	Barcelona - el Raval
BCN_GRACIA	URBANA	TRÀNSIT	X4	Barcelona - el Raval
BCN_PALAU_REIAL	URBANA	FONS	X4	Barcelona - el Raval
BCN_SANTS	URBANA	FONS	X4	Barcelona - el Raval

Font: Barcelona Regional.

El model GAM obtingut i que relaciona la concentració diària mitjana d'NO₂ a les estacions de la XVPCA de Barcelona prèviament llistades amb les dades meteorològiques té un factor d'ajust de: R²=0,649, per tant és capaç d'explicar la variabilitat diària de l'O₃ en un 65%.

A continuació es mostra la correlació entre el model i les dades reals d'NO₂.

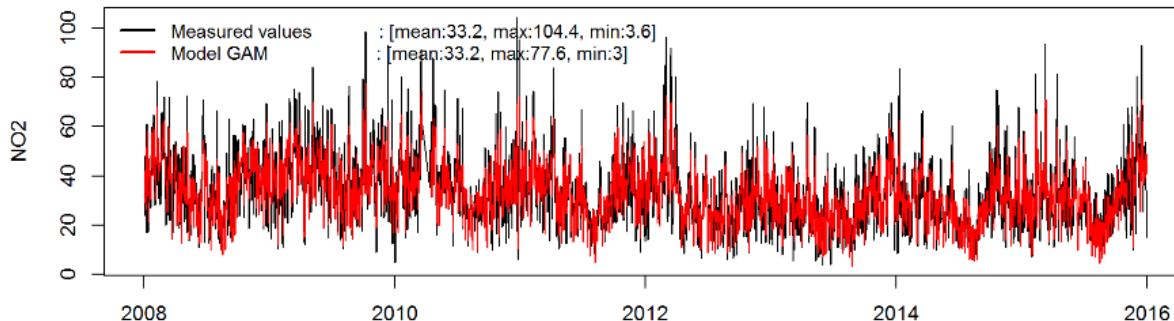
Imatge 51: Correlació entre les dades del model GAM i les dades reals pels NO₂ a les estacions de Barcelona



Font: Barcelona Regional

A continuació, a mode d'exemple, també es representa la immissió diària de les dades del model GAM amb les dades reals per una estació concreta de la XVPCA.

Imatge 52: Resultats diaris de NO₂ del model GAM amb les dades reals per l'estació de fons urban de la XVPCA de Vall Hebron



Font: Barcelona Regional

Tots els predictors utilitzats per ajustar el model són rellevants (presenten un p-value < 2e-16) pel model, això vol dir que són importants i necessaris per explicar la variabilitat de l'NO₂. En canvi la precipitació (amb un p-value = 0,54) resulta un valor molt alt indicant que no és rellevant al model; també la humitat relativa (p-value = 0,00015) resulta excessivament alta per ser rellevant pel model.

L'efecte marginal de les variables predictorres es mostra a continuació⁹. Per facilitar la comparació entre els efectes marginals es fixa el rang de l'eix "y".

⁹ No es representen les variables constants (latitud, longitud i alçada), inherents a cada estació

Imatge 53: Resultats de l'efecte marginal dels predictors pels NO₂ a les estacions de Barcelona

Font: Barcelona Regional

De les gràfiques anteriors s'observa com la variable "any" (year) té una influència forta sobre els NO₂ (p-value = 4,4e-88), tot i que l'efecte marginal és petit, es pot observar una clara tendència amb els anys a disminuir la concentració d'NO₂ especialment a partir del 2010. Tot i això s'observa també una estabilització en els últims dos anys analitzats.

Les variables “mes” i “dia de la setmana” també mostren un efecte marginal sobre els NO₂ segurament derivat del trànsit viari, ja que tant a l'agost com al cap de setmana hi ha una clara influència marginal de reducció de la concentració d'NO₂. Cal notar que aquesta influència és inversa a la que s'ha vist amb l'O₃ ja que els dos contaminants estan químicament relacionats.

En referència a les variables meteorològiques analitzades, ni la humitat relativa, ni la radiació solar diària, ni la precipitació sembla que tinguin influències destacables sobre els NO₂ (p-value menors de 2e-16 i efectes marginals pràcticament plans).

Les dos variables meteorològiques que sí tenen una forta influència amb la mitjana diària d'NO₂ són la temperatura i la pressió atmosfèrica. La primera (amb un p-value de 3e-51) té un efecte marginal sobre els NO₂ a partir dels 15°C de temperatura mitjana diària. Així a major temperatura major serà la concentració d'NO₂ fins a assolir rangs de 20 µg/m³ entre els 15°C i els 30°C.

Per altre banda la pressió atmosfèrica (P2) també té una forta influència en l'NO₂ (p-value = 1,8e-193) amb un clar efecte marginal lineal que indica que a major pressió atmosfèrica major concentració d'NO₂ amb rangs de fins a 45 µg/m³.

Finalment la concentració mitjana diària d'NO₂ del dia anterior (NO2_lag1) de les analitzades és la variable amb més força (p-value=0), amb un efecte marginal també molt lineal i una pendent aproximadament de 0,3; o sigui que el 30% de la concentració mitjana diària en NO₂ és degut a la concentració que hi havia el dia anterior. Això vol dir que la reducció o increment de la concentració d'un dia determinant afectarà en aquesta proporció a la concentració del dia següent.

Taula 13: Resum de l'efecte de les variables avaluats per NO₂

Variable	p-value	Efecte marginal
Dia anterior	0	Molt alt
Dia de la setmana	0	Molt alt
Pressió en superfície	1.81E-193	Molt Alt
Mes	8.19E-118	Molt Alt
Any	4.42E-88	Molt Alt
Temperatura	3.31E-51	Alt
Radiació solar acumulada	4.84E-12	Baix
Humitat relativa	1.56E-4	Baix
Precipitació	5.42E-1	Baix

Font: Barcelona Regional

A l'annex 6.7 es mostren els efectes marginals a totes les estacions i àmbits analitzats per l'NO₂.

2.5.5. SIMULACIÓ DE LA QUALITAT DE L'AIRE AMB ELS ESCENARIS DEL FUTUR

Les relacions trobades entre la qualitat de l'aire i la meteorologia, i els models definits poden ser utilitzats per simular l'efecte d'un clima futur sobre la qualitat de l'aire. Per tant, utilitzant com a entrades al model GAM, les projeccions climàtiques amb resolució horària dels escenaris climàtics futurs derivats de les modelitzacions realitzades pel Servei Meteorològic de Catalunya, es pot modelitzar la concentració de l'O₃, NO₂ i PM₁₀ sota les condicions dels escenaris climàtics analitzats: IPCC (2013) RCP 4.5 i RCP 8.5, i veure quin **perill** hi ha d'incrementar la intensitat en la concentració de contaminants, recordem que **perill** es pot definir com la freqüència i intensitat (o magnitud) amb la que un determinat fenomen natural o antròpic impacta en un espai determinat.

A més les projeccions plantejades (RCP 4.5 i RCP 8.5) s'han realitzat a través de la combinació dels models americà (**GFDL-ESM2G**), alemany (**MPI-ESM**) i canadenc (**CanESM2**) per part del Servei Meteorològic de Catalunya. Segons la combinació dels tres models ja esmentats (americà, alemany i canadenc), per a l'escenari RCP4.5 hi ha una tendència prevista a l'alça de la temperatura a Barcelona per a les properes dècades. Tot i que els majors augments de temperatura es donarien a mitjans de segle i amb l'escenari RCP8.5.

De cara a poder fer una comparativa d'aquests escenaris amb l'escenari actual, s'ha modelitzat un escenari de control (CTRL) que correspon a aquell derivat de la modelització utilitzant el model climàtic primer i després l'algorítmic, per l'escenari del S.XX.

Cal recordar que tots els escenaris contempnen exclusivament els efectes derivats de les variacions climàtiques, i per tant es consideren constants la resta de variables que poden afectar a la contaminació de l'aire, això vol dir que es consideren les mateixes emissions de contaminants del passat, i per tant només es modelitza la sensibilitat de la concentració dels tres contaminants considerant el canvi de temperatura previst en els escenaris IPCC (2013) RCP 4.5 i RCP 8.5.

Segons els resultats de les modelitzacions realitzades es pot observar el següent:

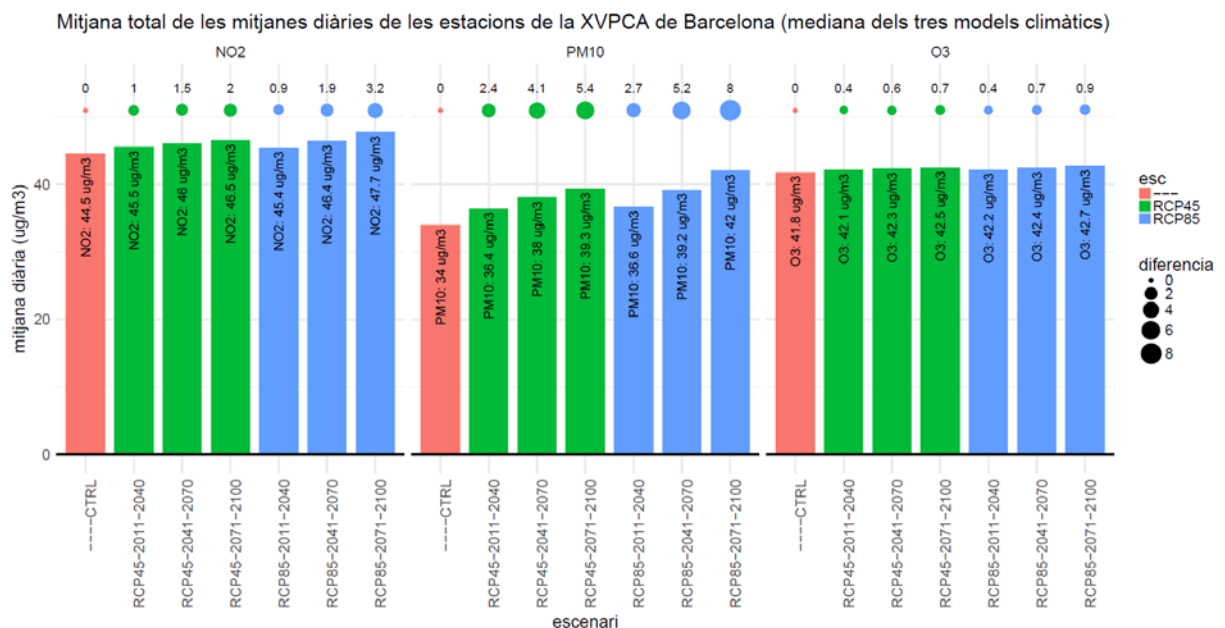
- La influència dels efectes climàtics pot suposar un increment en la concentració anual dels tres contaminants analitzats, l'increment resulta més gran en PM₁₀, un increment mitjà en NO₂ i molt petit en O₃, sempre sota la hipòtesis que es mantenen constants les emissions.
- Els NO₂ es poden veure incrementats a finals de segle des de 2 µg/m³ en l'escenari RCP4.5, fins a 3,2 µg/m³ amb l'escenari RCP8.5.
- Observant l'efecte de la concentració d'NO₂ per mesos (veure gràfiques dels annexos), es veu un increment major en els mesos d'estiu que en els d'hivern. Tanmateix no hi ha diferències en l'increment entre estacions de la XVPCA.
- L'increment sobre les PM₁₀ per a finals de segle por anar des dels 5,4 als 8 µg/m³ en mitjana anual, per als escenaris RCP4.5 i RCP 8.5 respectivament. Per mesos s'observa un major increment des de maig fins a l'octubre, mentre que per estacions de la XVPCA de Barcelona (només dues tenien suficient històric per construir el model GAM) els increments són similars.
- L'increment sobre l'O₃ per a finals de segle és molt baix, entre els 0,7 i 0,9 µg/m³ en mitjana anual per als escenaris RCP4.5 i RCP8.5 respectivament. L'increment d'O₃ no

denota diferència segons l'època de l'any ni entre estacions de la XVPCA, per tant té un comportament molt constant.

- Tot i això, tenint en compte que s'espera una continuació en la baixada de les emissions, tal com es pot observar en les gràfiques d'efecte marginal de les PM₁₀ i dels NO₂ respecte l'any: "year", els increments derivats del canvi climàtic podem quedar contrarestats amb escreix a mida que les noves tecnologies amb menors emissions (com el vehicle elèctric), es vagin consolidant. Per contra, aquesta disminució en les emissions de NO_x pot provocar un increment en la concentració d'O₃ tal com també es pot intuir al observar la gràfica de l'efecte marginal de l'O₃ respecte l'any: "year".

A continuació es mostren els diferents efectes de cada contaminant per cadascun dels períodes (considerant la mitjana diària de les estacions de la XVPCA de Barcelona). La gràfica següent mostra la mediana dels resultats dels tres models climàtics analitzats, per veure un detall del resultat de cada model climàtic consultar els annexos.

Imatge 54: Resultats de la modelització per els escenaris de futur climàtic: NO₂, PM₁₀ i O₃



Font: Barcelona Regional

3. CONCLUSIONS



Aquest capítol s'emmarca dins de l'anàlisi de vulnerabilitat al canvi climàtic de Barcelona en marc de "l'Estudi dels impactes del canvi climàtic a Barcelona" i té com objectiu veure els possibles efectes sobre la qualitat de l'aire en els escenaris de futur de canvi climàtic a l'àrea de Barcelona.

Actualment a Barcelona ciutat, els contaminants més preocupants són: el diòxid de nitrogen, les partícules (PM_{10}) i l'ozó, El primer degut a que encara es superen els líndars legals establerts pel R.D. 102/2011, especialment en referència a la mitjana anual. Les partícules (PM_{10}) encara que es compleixen els límits legals respecte a la qualitat de l'aire, superen els límits recomanats per la Organització Mundial de la Salut. En el cas de l'ozó, es troba sota vigilància, ja que els seus nivells mitjans s'estan incrementant als darrers anys i han començat a presentar-se superacions episòdiques a Barcelona ciutat.

Per l'estudi s'han analitzat les dades de qualitat de l'aire de la XVPCA, per les estacions de Barcelona i de l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Per una banda s'han analitzat les situacions sinòptiques els dies "d'alta concentració", això s'ha fet mitjançant la caracterització meteorològica a mesoescala (període 2006-2015). Per altre banda, s'ha analitzat a través de models GAM (*Generalized Additive Model*) la relació de la contaminació atmosfèrica amb les dades meteorològiques locals en superfície pel període (1992-2015).

L'anàlisi de la dinàmica d'aquests contaminants mostra una sèrie de processos complexos especialment per l'ozó troposfèric i les partícules, ja que tenen contribució, tant de fonts d'emissió de caràcter local, com del transport des d'altres regions.

A tots dos casos s'ha projectat la variació de la contaminació atmosfèrica a l'àrea de Barcelona considerant els escenaris meteorològics de futur de canvi climàtic del IPCC RCP 4.5 i RCP 8.5.

Per les partícules de PM_{10} , l'anàlisi dels patrons sinòptics mostra, que la majoria d'aquest patrons es troben relacionats amb situacions d'intrusió de pols saharià a la península (64,6% del total dels dies identificats com dies "d'alta concentració"). Per altra banda, el 68% dels dies "d'alta concentració" s'agrupen en tres patrons de circulació: patró 9 (41%), patró 4 (16%) i patró 10 (11%), els quals es troben associats a condicions anticiclòniques, connectats tèrmicament amb el nord d'Àfrica, que en funció del patró, es distribueix durant tot l'any, majoritàriament a la primavera i l'estiu.

En els escenaris de canvi climàtic considerats, RCP 4.5 i RCP 8.5, es preveu un increment de les situacions episòdiques a finals de segle, d'entre 16 i 24 dies més de mitjana anual respectivament, respecte a la mitjana anual de 40 dies del període actual (2006-2020).

L'anàlisi GAM mostra que les PM_{10} tenen una forta sensibilitat, de manera directa, amb la temperatura; tanmateix també té una relació directa amb la humitat relativa i la pressió atmosfèrica tot i que amb menor grau i contrària amb la precipitació. Segons aquest model, considerant els escenaris de canvi climàtic futur, obtindríem un increment alt en la concentració de partícules per a finals de segle que podria oscil·lar entre 5,4 i 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en mitjana anual, segons l'escenari RCP4.5 i RCP 8.5 respectivament, l'efecte és major de maig fins a l'octubre i menor en la resta de mesos tal com es pot observar en les gràfiques dels annexos.

Per l'ozó l'anàlisi dels patrons sinòptics als escenaris de canvi climàtic preveuen un increment de les situacions episòdiques a finals de segle, d'entre 2 i 3 dies més de mitjana anual (als

escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5, respectivament), respecte a la mitjana anual de 18 dies en la situació actual (2006-2020).

L'anàlisi GAM mostra que l'ozó està fort i inversament influenciat per la humitat relativa i la pressió atmosfèrica: major HR o pressió comporta una menor concentració d'O₃; i una gran influència, en sentit directe, amb la radiació solar. Segons aquest model, a finals de segle hi hauria un petit increment de la concentració d'ozó entre 0,7 i 0,9 µg/m³ en mitjana anual segons l'escenari RCP4.5 i RCP8.5 respectivament, a més no s'observen diferències en l'efecte en relació a l'època de l'any

Per als NO₂, l'anàlisi dels patrons sinòptics en els escenaris de canvi climàtic mostren un increment de les situacions episòdiques a finals de segle, d'uns 7 dies més de mitjana anual (en tots dos escenaris), respecte a la mitjana anual de 30 dies en la situació actual (2006-2020).

L'anàlisi GAM mostra que els NO₂ tenen una forta relació amb la temperatura i la pressió atmosfèrica, totes dues en sentit directe: a més temperatura o pressió, major concentració. L'increment anual mitjà d'NO₂ es preveu moderat, i per finals de segle oscil·laria entre 2 i 3,2 µg/m³ segons l'escenari de futur climàtic (RCP4.5 i RCP8.5 respectivament), amb un efecte major en els mesos d'estiu que en els d'hivern.

Aquests resultats mostren en global un increment de les situacions sinòptiques que afavoreixen els episodis de contaminació per partícules, ozó i diòxid de nitrogen la qual cosa coincideix amb altres estudis que indiquen un increment de les situacions d'estanquitat atmosfèrica (Leung and Gustafson, 2005) i una disminució dels vents zonals relacionats amb un augment latitudinal de la pressió a nivell del mar a l'hivern (Jerez, 2011). Així mateix segons Hoinka i Castro (2003) indiquen que a l'estiu es produiria el realçament de la baixa tèrmica Ibèrica provocant una circulació ciclònica més forta al voltant de la península ibèrica, la qual es troba associada amb condicions seques i estables que afavoreixen els processos fotoquímics (Jiménez-Guerrero et al., 2012).

Com a conclusió final, cal remarcar que aquest estudi només ha valorat l'efecte de les variables meteorològiques sobre la qualitat de l'aire, però *no ha valorat quantitativament l'efecte de la previsible disminució de les emissions gràcies a les noves tecnologies* que es preveu siguin més respectuoses amb el medi ambient i que també es preveu han de consolidar-se (i aparèixer de noves) al llarg d'aquest segle XXI; en part perquè es desconeix quin serà el grau de penetració d'aquestes, o quines seran les noves que han d'aparèixer més al llarg termini.

Tot i això, sí que qualitativament es pot dir que l'increment en les mitjanes anuals observat per l'efecte climàtic per les PM₁₀ com pels NO₂, podrien ser contrarestats per la reducció de les emissions que s'espera es produirà especialment en el sector del transport.

Per contra, la concentració d'O₃, s'espera que s'incrementi lleugerament a Barcelona per l'efecte del canvi climàtic, i en major grau si es redueixen les emissions de NO_x a la ciutat de Barcelona, ja que existeix una relació inversa entre aquests dos contaminants (a major concentració d'un menor de l'altre) derivat de la relació foto-química qui hi ha entre ells amb l'ajuda de la radiació solar.

4. RECOMANACIONS



L'Ajuntament ja té en marxa mesures adreçades a la reducció de les emissions de gasos contaminants. Per una banda hi ha el **Pla de millora de la qualitat de l'aire a Barcelona 2015-2018**, que aglutina altres plans de la ciutat com ara Plans d'acció municipal, instruments de planificació sectorials, el Pla de Mobilitat Urbana 2012-2018, o altres mesures addicionals. El seu objectiu és recollir les actuacions en curs i implantar a la ciutat durant el període 2015-2018 per millorar la qualitat de l'aire a Barcelona per assolir els nivells permesos per la normativa. Les accions es caracteritzen pel seu caràcter d'incentivació per afavorir i estimular comportaments i formes de relació entre el ciutadà i l'espai urbà que potenciïn la millora de la qualitat de l'aire i de la qualitat de vida de la ciutat.

Així mateix al novembre del 2016, es va publicar un programa de mesures contra la contaminació atmosfèrica de Barcelona, per reforçar les mesures estructurals per reduir els nivells mitjans de NO₂ i PM₁₀ així com mesures específiques per afrontar episodis d'alta contaminació.

El Programa s'estructura en vuit eixos:

- EIX 1. Zones d'intervenció ambiental especials
- EIX 2. Canvis en el model de ciutat
- EIX 3. Impuls del transport públic i no contaminant
- EIX 4. Programa RENOVE amb bescanvi al transport públic, gestió de la mobilitat a través de l'aparcament i renovació de flotes
- EIX 5. Comunicació i divulgació
- EIX 6. Seguiment dels efectes sobre la salut
- EIX 7. Impuls d'actuacions coordinades en el sector transport marítim, indústria i mobilitat empreses.
- EIX 8. *Protocol d'actuació propi en cas d'episodi de contaminació atmosfèrica*: estableix mesures d'actuació en funció de la superació de diferents llindars (seguiment atent, avís preventiu i episodi). Les mesures pels casos més greus consistiran entre altres en: canvis de regulació semafòrica i d'aparcament, promoció de la bicicleta i el transport públic, i també la prohibició de circulació dels vehicles més contaminants.

En total es defineix 25 mesures que es desenvolupen a través de 58 accions, amb un horitzó temporal l'any 2020.

Dins aquestes accions, els més destacats es resumeixen al següent quadre:

Reduir la quantitat de vehicles que entren a la ciutat	L'objectiu és reduir els desplaçaments en vehicle privat a l'àrea metropolitana en un 21% respecte als valors del 2013. Aquesta és la font de contaminació principal, especialment a causa dels motors dièsel antics.
Netejar els carrers amb aigua freàtica	La utilització d'aigua no potable però que ha estat tractada per netejar els carrers reduirà la quantitat de partícules a l'asfalt, i en conseqüència, la contaminació que provoquen.
Impulsar una flota verda de vehicles municipals	Qualsevol vehicle adquirit per l'Ajuntament de Barcelona o bé per algun servei municipal serà elèctric, híbrid o utilitzarà gas natural, en la mesura del possible.
Reordenar la via pública	Es treballa per promoure una mobilitat sostenible creant més zones de vianants als carrers i reduint l'espai d'aparcament per als vehicles privats.
Fomentar els mitjans de transport no motoritzats	L'Ajuntament fomenta l'ús de la bicicleta. Nous carrils i aparcaments per a bicis, rutes verdes i camins escolars segurs són algunes de les accions que s'estan impulsant.
Afavorir els vehicles menys contaminants	A mesura que la Direcció General de Trànsit implanti els distintius que classifiquen els vehicles en funció del seu poder pol·lucionant, l'Ajuntament afavorirà els vehicles més verds amb bonificacions a l'àrea verda o blava i amb un impost de circulació més baix.
Promoció de l'ús de bicicletes i motos elèctriques	S'incentivarà amb la implementació de nous punts de càrrega arreu de la ciutat.
Creació de les zones urbanes d'atmosfera protegida (ZUAP)	Es delimiten zones en què la qualitat de l'aire és més crítica i on es puguin aplicar mesures més restrictives per reduir la pol·lució i poder reaccionar amb més rapidesa durant un episodi de contaminació. Algunes d'aquestes zones seran a prop de localitzacions sensibles, com escoles i hospitals.

Per tant, aquestes mesures contribuiran significativament a la reducció dels nivells de NO₂ i de PM₁₀, especialment les mesures dirigides a reduir la circulació dels vehicles més contaminants i la renovació del parc de vehicles per tecnologies més netes.

En aquest sentit l'increment de NO₂ previst a la ciutat degut al canvi climàtic segons les modelitzacions d'aquest estudi, es preveu que sigui completament neutralitzat degut a la reducció d'emissions d'NO_x que es preveu continuï i que repercutirà en una reducció final de NO₂. Per tant cal continuar executant les mesures de reducció de NO₂ per evitar un increment d'aquests nivells.

En el cas de les partícules, l'efecte de les mesures locals per reduir els focus d'emissió tindria un menor impacte, ja que l'increment previst pel canvi climàtic majoritàriament provindria del fons extern a la ciutat (intrusions de pols i major activitat fotoquímica). Per tant, a més de les mesures de reducció d'emissions locals de partícules ja iniciades (estructurals i preventives), es proposaria incrementar la neteja de carrers els dies d'episodi, per evitar la seva resuspensió.

La modelització realitzada per l'ozó preveu un lleu increment dels nivells considerant els escenaris de canvi climàtic futur, aquest increment és degut a la major activitat fotoquímica i un increment de les situacions episòdiques degut al canvi de les condicions sinòptiques, no obstant això a la ciutat de Barcelona actualment aquest contaminant no representa una preocupació, per la qual cosa no hi ha mesures específiques per la seva reducció (addicionals a les normatives estatals sobre combustibles i ús de dissolvents). Es proposa per tant mantenir la seva vigilància i disposar de mecanismes d'actuació en cas de superació dels límits legals d'ozó ja que a mida que les emissions d'NO_x es redueixin a la ciutat (per les mesures estructurals) podria haver un increment de la concentració d'O₃ ja que existeix una relació inversa entre aquests dos contaminants.

5. BIBLIOGRAFIA



1. Ajuntament de Barcelona, Mesura de govern: programa de mesures contra la contaminació atmosfèrica, 2016 (http://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/sites/default/files/pdfs/Mesures%20Govern_CAT_low.pdf, setembre del 2017))
2. Belusic, A, Herceg-Bulic I., Bencetic Z., Using a generalized additive model to quantify the influence of local meteorology on air quality in Zagreb GEOFIZIKA VOL.32, 2015).
3. Bermejo V, Alonso R, Elvira S, Rábago I, García M. Colaboradores: Calvo E, Calatayud V, Peñuelas J, Díaz de Quijano M, Mills GE, Santamaría JM, Sánchez G, García P, González I, Sánchez B, Javier Sanz, Volk M, Bassin S (2009) El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural
4. Baldasano, J.M., P. Jiménez P., O. Jorba, E. López, R. Parra and C. Pérez (2006) Dynamics of air pollution in the North-Western Mediterranean Basin (Catalonia) in summer by using high-resolution air quality modeling. *Contribution to Science* 3 (2):167-180
5. Cachorro v. Burgos M. Mateos D. Toledano C, altres Inventory of African desert dust events in the north-central Iberian Peninsula in 2003-2014 based on sun-photometer-AERONET and particulate-mass-EMEP data. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 8227-8248, 2016 www.atmos-chem-phys.net/16/8227/2016/ doi:10.5194/acp-16-8227-2016.
6. Cachorro, V. Burgos M., David Mateos, Carlos Toledano, Yasmine Bennouna, Benjamín Torres, Ángel M. de Frutos, and Álvaro Herguedas Inventory of African desert dust events in the north-central Iberian Peninsula in 2003-2014 based on sun-photometer-AERONET and particulate-mass-EMEP data. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, www.atmos-chem-phys.net/16/8227/2016/ doi:10.5194/acp-16-8227-2016
7. Chehade W., Weber M. and J. P. Burrows Total ozone trends and variability during 1979-2012 from merged data sets of various satellites *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 7059-7074, 2014
8. Cooper, O.R., Moody, J.L., Parrish, D.D., Trainer, M., Holloway, J.S., Ryerson, T.B., Hubler, G., Fehsenfeld, F.C., Oltmans, S.J., Evans, M.J., 2001. Trace gas signatures of the airstreams within North Atlantic cyclones: case studies from the North Atlantic Regional Experiment (NARE'97) aircraft intensive. *J. Geophys. Res.* 106, 5437-5456. D18312.
9. CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) y el MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente 2005 - 2016) EPISODIOS NATURALES DE PARTÍCULAS 2005-2015. (http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/fuentes-naturales/Prediccion_episodios_naturales.aspx, abril de 2017)
10. Draxler, R. R and G. D. Hess, 1998: An overview of the HYSPLITp4 modelling system for trajectories, dispersion, and deposition. *Aust. Meteor. Mag.*, 47, 295-308.
11. Draxler, R. R., 1996: Boundary layer isentropic and kinematic trajectories during the August 1993 North Atlantic Regional Experiment Intensive. *J. Geophys. Res.*, 101, 29 255-29 268.
12. Departament de Territori i Sostenibilitat Generalitat de Catalunya. DTS. La qualitat de l'aire a Catalunya Anuari 2014. (http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/avaluacio/balancos_i_informes/documentos/QUALITAT-DE-LAIRE-A-CATALUNYA-2014.pdf, juliol 2016).
13. Escudero, M., Castillo, S., Querol, X., Avila, A., Alarco n, M., Viana, M.M., Alastuey, A., Cuevas, E., Rodri'guez, S., 2005. Wet and dry African dust episodes over Eastern Spain. *Journal of Geophysical Research* 110 (D18S08) 10.1029.
14. Forkel, R., Knoche, R., 2006. Regional climate change and its impact on photooxidant concentrations in southern Germany: simulations with a coupled regional chemistry-climate model. *J. Geophys. Res.* 111, D12302.
15. García-Valero JA, Montávez JP, Jérez S, Gómez-Navarro JJ, Lorente-Plazas R, Jiménez-Guerrero P. 2012. A seasonal study of the atmospheric dynamics over the Iberian Peninsula based on circulation types. *Theor. Appl. Climatol.* 110: 219-310, doi: 10.1007/ s00704-012-0623-0.
16. Generalitat de Catalunya 2012. Informe relatiu als nivells de PM₁₀ enregistrats a la Zona de Qualitat de l'Aire 1 i a la Zona de Qualitat de l'Aire 2 durant el 23.07.2012 i 24.07.2012 (http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/oficina_tecnica_de_plans_de_millora/pla_millora_qua_aire_2011_2015/episodis_ambientals/historic/Informe_s_Episodis/episodi_ambiental_23_24_juliol.pdf, març del 2017).
17. Generalitat de Catalunya 2016, Episodis ambientals de contaminació atmosfèrica, http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/plans_de_millora/pla_millora_qua_aire_2011_2015/mesures-del-pamqa/episodis_ambientals/historic-dinformes/, març del 2017).
18. Held, I.M., Soden, B.J., 2000. Water vapor feedback and global warming. *Annual Rev. Energy Environ.* 25, 441-475.

19. Hernandez Ceballos CONAMA 10. Universidad de Huelva La modelización meteorológica como herramienta necesaria para los estudios de calidad del aire: caso del valle del Guadalquivir. 2010.
20. Intergovernmental Panel on Climate Change (2000) Emissions Scenarios. A Special Report of IPCC Working Group III (<https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>, Octubre del 2016)
21. Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) AR5 Fifth Assessment Report Representative Concentration Pathways (RCPs).
http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter12_FINAL.pdf, novembre del 2016)
22. International Agency for Research on Cancer (IARC). Outdoor Air Pollution. Volume 109. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. LYON, FRANCE - 2016
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol109/mono109.pdf>.
23. Isaksen, I.S.A., Zerefos, C., Kourtidis, K., Meleti, C., Dalsoren, S.B., Sundet, J.K., Grini, A., Zanis, P., Balis, D., 2005. Tropospheric ozone changes at unpolluted and semipolluted regions induced by stratospheric ozone changes. *J. Geophys. Res.* 110, D02302.
24. Jerez S., Jimenez-Guerrero P., Montávez J. P., and Trigo R. M. Impact of the North Atlantic Oscillation on European aerosol ground levels through local processes: a seasonal model-based assessment using fixed anthropogenic emissions
25. Jerez, S., 2011. Climate simulations over the Iberian Peninsula: study of the role of the parameterization schemes and characterization of climate change patterns. PhD Thesis, University of Murcia, Spain, 166 pp.
26. Jiménez-Guerrero, P., Montávez, J. P., Gómez-Navarro, J. J., Jerez, S., and Lorente-Plazas, R.: Impacts of climate change on ground level gas-phase pollutants and aerosols in the Iberian Peninsula for the late XXI century, *Atmos. Environ.*, 55, 483-495, 2012.
27. JetStream (2008). Origin of Wind. National Weather Service Southern Region Headquarters. Retrieved on 2009-02-16.
28. Leung, L.R., Gustafson Jr., W.I., 2005. Potential regional climate and implications to US air quality. *Geophys. Res. Lett.* 32, L16711. doi:10.1029/2005GL022911.
29. Li, Q., Jacob, D.J., Park, R., Wang, Y., Heald, C.L., Hudman, R., Yantosca, R.M., Martin, R.V., Evans, M., 2005. North American pollution outflow and the trapping of convectively lifted pollution by upper-level anticyclone. *J. Geophys. Res.* 110, D10301.
30. Liu, H.Y., Jacob, D.J., Bey, I., Yantosca, R.M., Duncan, B.N., Sachse, G.W., 2003. Transport pathways for Asian combustion outflow over the Pacific: interannual and seasonal variations. *J. Geophys. Res.* 108, 8786.
31. Mariola Brines, Manuel Dall'Osto, Fulvio Amato, María Cruz Minguillón, Angeliki Karanasiou, Andrés Alastuey, and Xavier Querol. Vertical and horizontal variability of PM₁₀ source contributions in Barcelona during SAPUSS *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 6785–6804, 2016 www.atmos-chem-phys.net/16/6785/2016/doi:10.5194/acp-16-6785-2
32. Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M). MPI-ESM Earth system model, <https://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/>, abril 2017)
33. Meleux, F., Solmon, F., Giorgi, F., 2007. Increase in European summer ozone amounts due to climate change. *Atmos. Environ.* 41, 7,577-7,587.
34. Millán M, Artífano B, Alonso L, Navazo M, Castro M. 1991. The effect of the mesoscale flows on regional and long-range atmospheric transport in western Mediterranean area. *Atmos. Environ.* 25A: 949-963, doi: 10.1016/0960-1686(91)90137-V.
35. Millán M, Salvador R, Mantilla E, Kallos G. 1997. Photooxidant dynamics in the Mediterranean basin in summer: results from European research projects. *J. Geophys. Res.* 102: 8811-8823, doi: 10.1029/96JD03610.
36. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013. Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial. Análisis de la Calidad del Aire en España: Evolución 2001-2012. www.magrama.es 2014
37. Mueller N, Rojas-Rueda D, Basagaña X, Cirach M, Cole-Hunter T, Dadvand P, Donaire-Gonzalez D, Foraster M, Gascon M, Martinez D, Tonne C, Triguero-Mas M, Valentin A, Nieuwenhuijsen M. 2016. Urban and Transport Planning Related Exposures and Mortality: A Health Impact Assessment for Cities. *Environ Health Perspect*
38. National Oceanic and Atmospheric Administration 20th Century Reanalysis, https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/20thC_Rean/, abril de 2017)
39. National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA Air Resources Laboratory. NOAA ARL HYSPLIT Model. <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>, desembre de 2016)
40. Pay M., Valverde V., Baldasano J.M (2015) Evaluating the global contribution from MACC when modelling an ozone episode over Spain (MACC-III Policy User Workshop, Wien, Austria, March 3-4, 2015)
41. Pesquisa Revista, FAPESP http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/08/011_Wiki_1984.jpg (novembre, 2016)

42. Querol, X., Pey, J., Pandolfi, M., Alastuey, A., Cusack, M., Moreno, T., Viana, M., Mihalopoulos, N., Kallos, G., and Kleanthous, S.: African dust contributions to mean ambient PM₁₀ levels across the Mediterranean Basin, *Atmos. Environ.*, 43, 4266–
43. Querol, X., Pey, J., Pandolfi, M., Alastuey, A., Cusack, M., Pérez, N., Moreno, T., and Kleanthous, S.: African dust contributions to mean ambient PM₁₀ mass-levels across the Mediterranean Basin, *Atmos. Environ.*,
44. Quinn P. K. & Bates T. S., The case against climate regulation via oceanic phytoplankton sulphur emissions *Nature* 480, 51–56 (01 December 2011) doi:10.1038/nature10580 Received 14 January 2011 Accepted 21 September 2011 Published online 30 November 2011
45. Steinbrecht Et Al 2011 Very high ozone columns at northern mid-latitudes in 2010 *Geophysical Research Letters* 38(6) · March 2011
46. Sunyer J, Esnaola M, Alvarez-Pedrerol M, et al., 2015. Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. *PLoS Med*; 12(3): e1001792.
47. Sunyer, J., Álvarez, M. and Nieuwhuisen, M. 2016. Impacte de la contaminació atmosfèrica a la ciutat de Barcelona en la salut. *La salut a Barcelona 2015*. Agència de Salut Pública de Barcelona. <http://www.aspb.cat/arees/la-salut-en-xifres/salut-barcelona/Agència>
48. Jonh L. Pearce, Jason Beringer i altres. Quantifying the influence of local meteorology on air quality generalised additive modelling. *Atmospheric environment* 45 1328-1336 (2011)
49. I. Barmpadimos, C. Hueglin, i d'altres. Influence of meteorology on PM10 trends and variability in Switzerland from 1991 to 2008. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 1813-1835, 2011
50. Andreina Belusic, Ivana Herceg-Bulic i Zvezdana Bencetic Klaić. Using a generalized additive model to quantify the influence of local meteorology on air quality in Zagreb. *GEOFIZIKA VOL.32*, 2015

6. ANNEXOS

- 6.1. Dinàmica dels contaminants analitzats**
- 6.2. Metodologia utilitzada per l'anàlisi de les situacions sinòptiques**
- 6.3. Dies identificats com d'alta concentració per l'anàlisi dels patrons sinòptics**
- 6.4. Dades utilitzades per a l'anàlisi estadístic amb el model GAM**
- 6.5. Detall de les modelitzacions per PM₁₀**
- 6.6. Detall de les modelitzacions per O₃**
- 6.7. Detall de les modelitzacions per NO₂**



6.1. DINÀMICA DELS CONTAMINANTS ANALITZATS

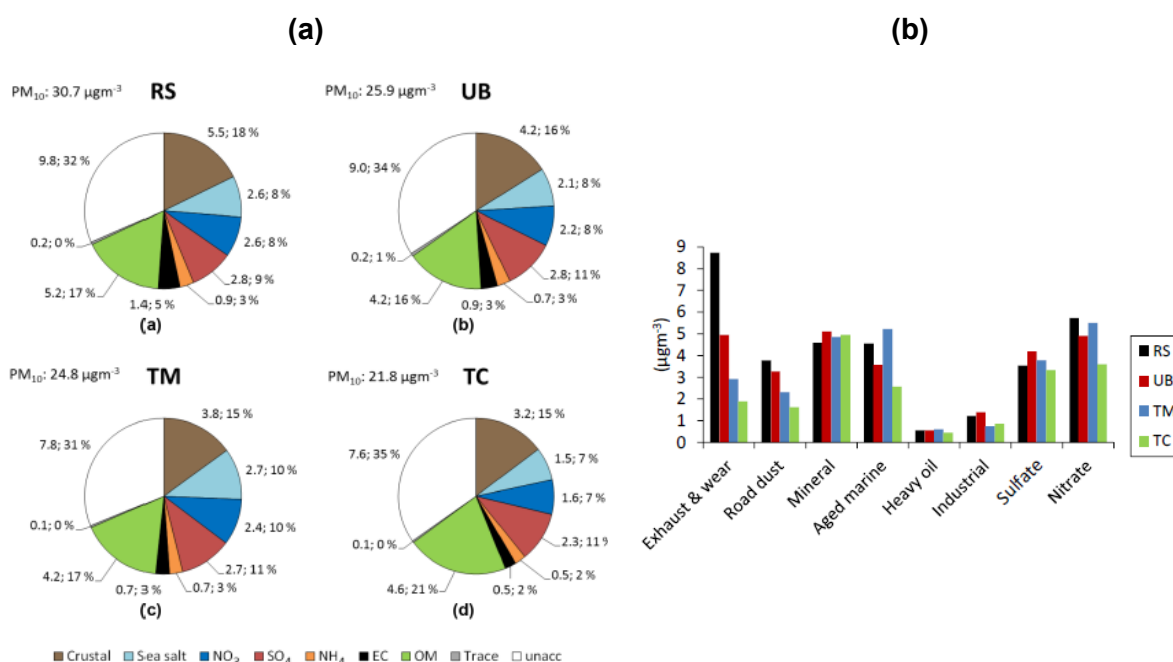
6.1.1. DINÀMICA DE LES PARTÍCULES

La dinàmica de les partícules a l'àrea de Barcelona es bastant complexa, degut a que aquest contaminat té contribució, tant de fonts primàries com secundàries, totes dues amb origen natural i antropogènic.

Un exemple de tal complexitat, és el recent estudi de Brines et al., (2016), que mostra per Barcelona la caracterització de les partícules en funció de la seva composició química i de l'origen de les masses d'aire que la transporten. En aquest estudi es van caracteritzar quatre punts representatius de la ciutat: tràfic de cotxes (RS), fons urbà (UB) a superfície i altres dos en alçada a la Torre Mapfre (TM) a 300 m d'alçada a la línia de costa i Torre de Collserola (TC) a 450 m d'alçada.

A la figura següent mostra, per cadascuna de les ubicacions, **(a)** la fracció química dels compostos que formen les partícules de PM₁₀ i per la figura **(b)** l'origen de l'emissió per cada estació.

Imatge 55: Composició mitja de PM₁₀ a quatre punts a Barcelona: Tràfic de cotxes (RS), fons urbà(UB), Torre Mapfre (TM) i Torre de Collserola (TC).



Font: Brines et al., (2016)

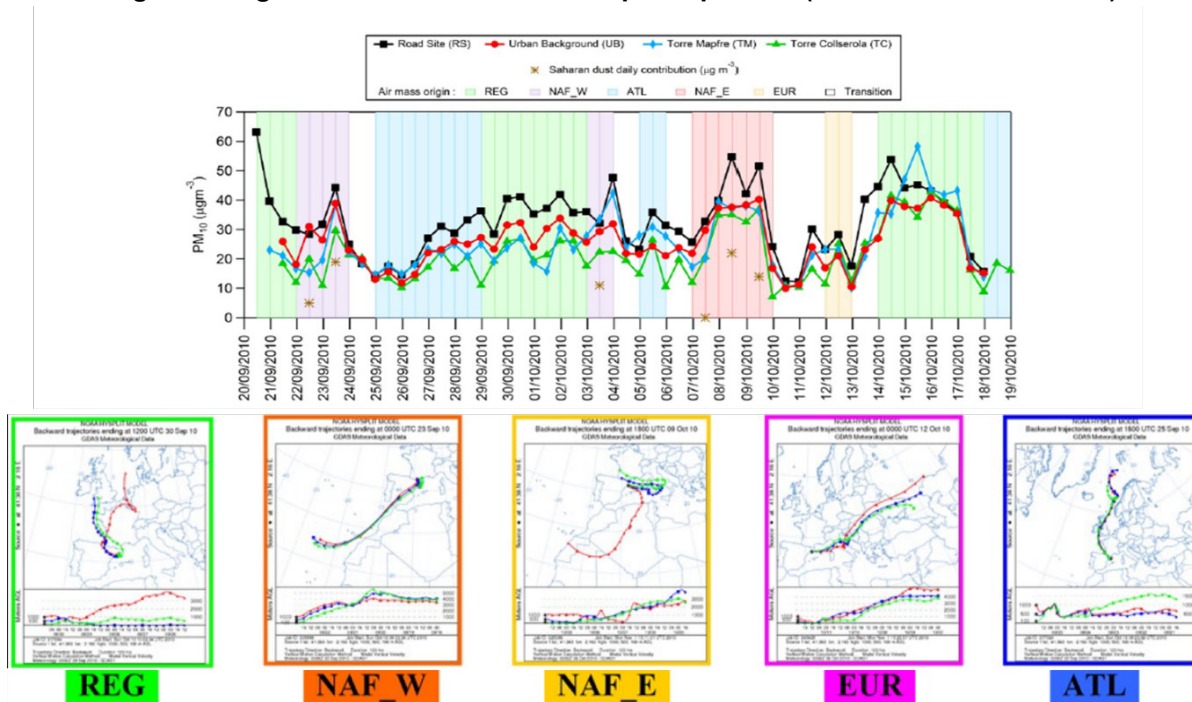
Es pot observar a la figura anterior (a) que pel període analitzat la major proporció de la massa quantificable a totes les estacions correspon a la fracció orgànica (OM) amb valors entre 16%-21%, la fracció mineral (crustal) 15%-18%, seguida dels compostos de nitrat, sulfat i amoni 7%-10%.

Així mateix a la figura anterior (b) es pot veure que la major variació en la composició de la concentració entre les estacions es presenta a la fracció de les emissions dels cotxes per combustió i desgast (exhaust & wear) i la resuspensió (road dust). L'oposat succeeix amb la fracció mineral, sulfats i nitrats que a totes les estacions tenen valors de contribució relativament semblats, degut a que aquestes fraccions constitueixen la major part del fons.

Respecte als aerosols marins (aged marine) es pot observar que els majors valors es troben a la Torre Mapfre (prop de la costa) i els menors a Collserola (muntanya), degut a la ràpida deposició de la fracció d'aerosols marins. La fracció d'emissions industrials (heavy oil & industrial) es baixa en totes les estacions.

Així mateix Brines et al., (2016), va analitzar l'origen de les masses de l'aire, per conèixer l'origen de les partícules. A la figura següent es pot veure la distribució dels orígens de les masses de l'aire per al període d'estudi, on es van a presentar cinc orígens predominants i alguns períodes de transició.

Imatge 56: Orígens de les masses de l'aire per al període (20/09/2010 – 19/10/2010)



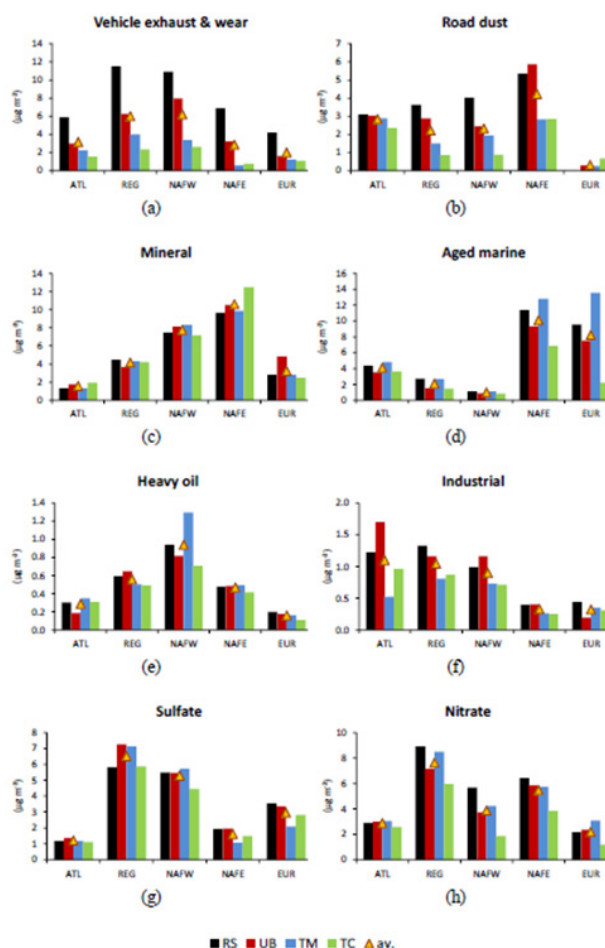
Font Brines et al., 2016

Les més freqüents van ser les masses d'aire amb origen regional (REG) amb un 30%, que tenen un règim continental–polar típic dels mesos d'estiu en el Mediterrani occidental amb altes temperatures i alta insolació (Millán et al., 1997). Aquesta situació es troba dominada per l'anticicló de les Açores, i es caracteritza per l'escàs transport horitzontal de masses a escala sinòptic (advecció) i processos de recirculació a mesoescala. Degut a la baixa tèrmica ubicada a la península Ibèrica es presenten brises terra-mar molt actives a les costes.

La segona situació més freqüent (23%) és la de masses d'aire Atlàntic (ATL). Aquest règim té una forta advecció¹⁰ des de l'oceà Atlàntic i es troba associat a condicions seques, baixes temperatures, dies assolellats i vents del Nord. Les situacions amb origen del nord d'Àfrica (NAF-W i NAF-E), van a succeir un 20% dels dies, la primera té origen a l'oceà Atlàntic i arriba del sud-oest a Barcelona. La segona té origen a la regió Sahariana i arriba del sud-est. Per últim es troba la massa d'aire amb origen europeu (EUR) amb un 7%, originada al costat oest del continent, és del tipus continental polar i travessa Europa abans d'arribar a Barcelona, el regim EUR es troba caracteritzat per baixa radiació solar, forts vents i elevada humitat.

A la figura següent es mostra l'origen de les emissions segons la procedència del vent per cadascuna de les fraccions de PM₁₀.

Imatge 57: Origen de les emissions segons la procedència del vent per cadascuna de les fraccions del PM₁₀.



Fonts: Brines et al., (2016)

Es pot observar que en general les emissions de tràfic de cotxes tenen una contribució semblant per tots els orígens, mentre que les partícules d'origen mineral provenen principalment del nord d'Àfrica amb component est i oest del vent (NAF-W i NAF-E). Els aerosol marins deriven del transport de les masses d'aire provinents del nord-oest d'Àfrica al seu pas

¹⁰ Desplaçament horitzontal de l'aire que comporta transport de calor, vapor d'aigua i moment lineal entre d'altres aspectes

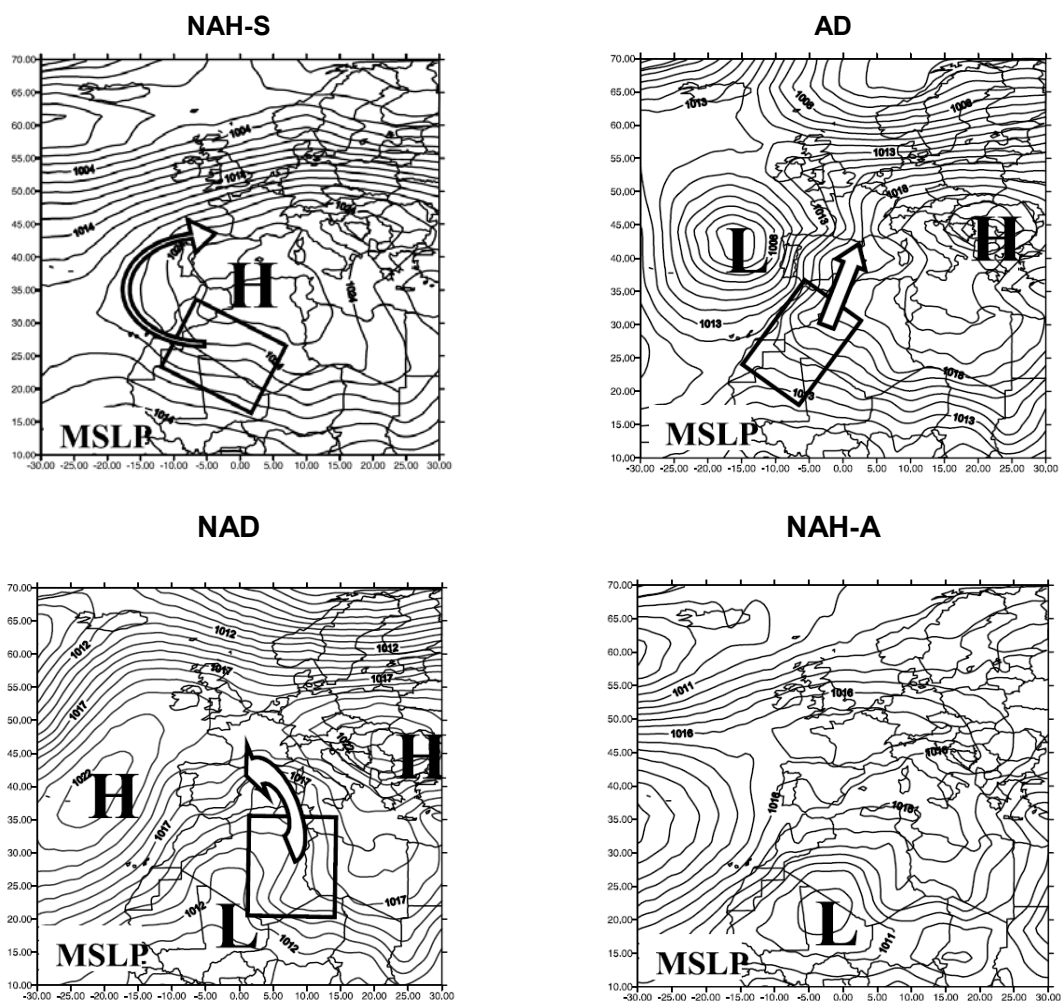
pel Mediterrani (NAF-E) i del nord-oest d'Europa (EUR). Els sulfats són transportats principalment amb vents del nord-oest d'Àfrica i del nord-oest d'Europa i els nitrats amb vents del nord d'Àfrica i del nord-oest d'Europa (en tots dos casos arrossegant contaminants des del mar Mediterrani).

Principals mecanismes de generació d'intrusions de pols Africà

De totes aquestes fonts de partícules, les intrusions de pols són les més estudiades a la península Ibèrica, d'aquests treballs es pot destacar l'estudi de *Escudero et al., (2005)*, sobre els episodis de pols Africà sobre el Mediterrani occidental al període (1996-2002) i l'estudi de *Cachorro et al., (2016)* que fa un inventari d'esdeveniments d'intrusió de pols Saharià per Castella-la Manxa per al període 2003-2014.

En tots dos es caracteritzen les principals situacions sinòptiques quan hi ha intrusió, d'acord amb la classificació proposada per *Escudero et al., (2005)*. A la figura següent, es mostra la representació en superfície d'aquesta classificació.

Imatge 58: Presentació de la pressió a nivell mitjà del mar per a les principals situacions sinòptiques (hPa) d'intrusió de pols a la península Ibèrica.



Font: Escudero et al., (2005)

La situació NAH-S (North Africa High Located at Surface Level) es produïda per un anticicló situat sobre el sud de la Península, nord d'Àfrica i la costa Mediterrània occidental o de la costa atlàntica; el transport és confinat a la atmosfera baixa (<1000m de alçada).

La situació AD (Atlantic Depression) està motivada per una baixa pressió relativament profunda centrada al sud-oest de la costa portuguesa amb una zona alta pressió associada sobre el Mediterrani central, aquest escenari causa un flux sinòptic procedent del sud en tots els nivells d'altitud, les zones d'origen de pols minerals pot variar àmpliament (Mauritània, Mali, Marroc).

La situació NAD (North African Depression) és causada quan l'anticicló de les Açores es desplaça lleugerament cap a l'est de la seva posició normal, a nivell de terra està centrat sobre Marroc, Algèria, Tunísia, o fins i tot el Mediterrani occidental. Aquest escenari meteorològic afavoreix el transport de masses d'aire africanes cap la península a través del Mediterrani. El transport de les masses d'aire associades amb aquest escenari es limita a les capes inferiors. La majoria d'aquests episodis ocorren amb esdeveniments de pluja. Les situacions de depressió nord-africana (NAD) poden aparèixer normalment per l'entrada de depressions (baixes) des de l'Atlàntic cap al nord d'Àfrica o el Mediterrani occidental. D'acord amb aquest escenari, les fonts de pols poden ser de regions d'Algèria, Tunísia, Líbia i Txad.

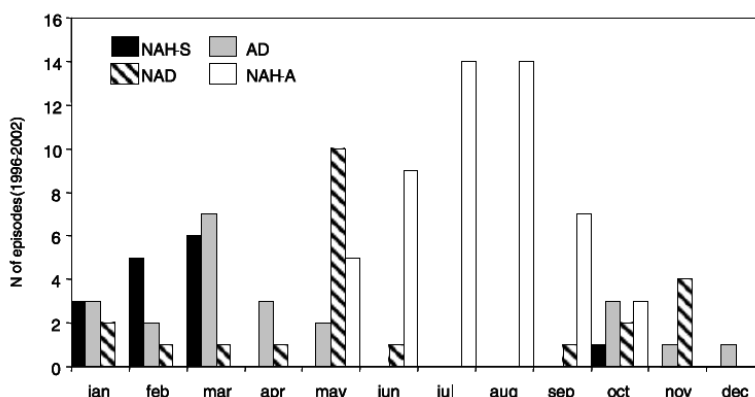
La situació NAH-A (North African High Located at Upper Levels) es l'escenari de generació d'episodis de pols més freqüents sobre la Península i és provocat per situacions d'intensa calor al Sàhara, el consegüent desenvolupament d'una baixa tèrmica al nord d'Àfrica i el creixement vertical considerable de la capa límit. Aquest sistema convectiu bombeja la pols fins a 5000 metres d'altitud. Una vegada s'injecta la pols a la troposfera mitjà, aquesta pot fer transportada cap a la Península i Europa a través de la branca de l'est de l'alta, present sobre el Nord d'Àfrica (elevant la pols a nivells superiors de l'atmosfera).

En aquests casos, les masses d'aire estan molt carregades amb pols i són transportades cap al nord i cobreixen la major part de la conca de la Mediterrània Occidental. Atès que el transport de pols es realitza a una alçada considerable, un nombre d'estudis han documentat episodis de transport que arriben a Europa a altituds de fins a 6 km sense impactes significatius als nivells baixos de la atmosfera (Ansmann et al., 2003).

Respecte a la freqüència d'aquestes situacions durant els episodis de pols Africà en el període de estudi (1996-2002), el NAH-S es va a presentar en el 13% dels casos, el NAH-A en el 46%, i el AD i el NAD en el 20% de les ocasions (Escudero et al., (2005) .

A la figura següent es mostra la distribució mensual dels episodis per al període (1996-2002), on es pot veure que la distribució estacional dels quatre escenaris de transport d'Àfrica està ben definida, destacant la situació NAH-A com la més freqüent i que es concentra en estiu.

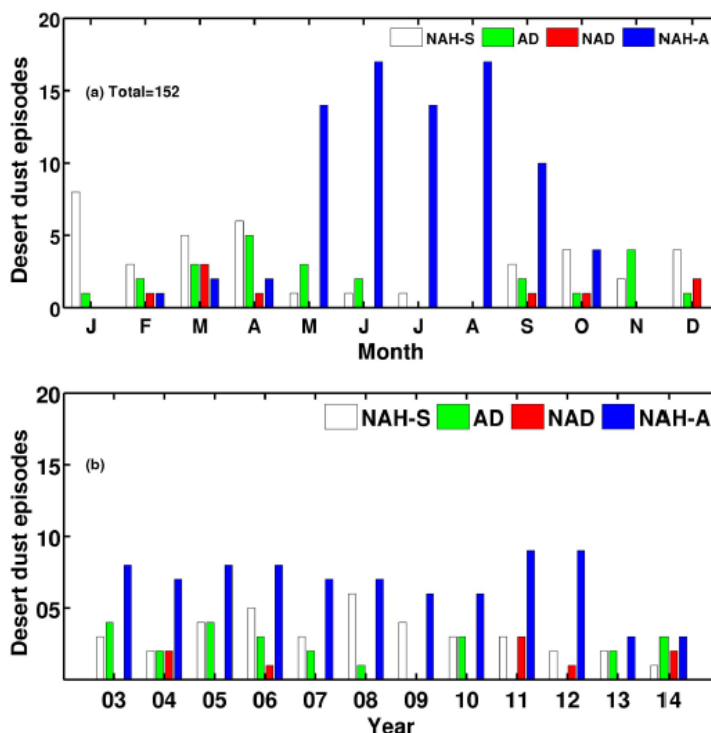
Imatge 59: Nombre de dies d'episodi de pols per al període (1996-2002)



Font: Escudero et al., (2005)

Respecte al estudi de Cachorro et al.,(2016), que fa un inventari d'esdeveniments d'intrusió de pols Saharià dels episodis d'intrusió al període 2003-2014, també sobre la península, a la figura següent es mostren el nombre de episodis per any i per mes de les situacions sinòptiques ocorregudes en aquest període. Cicle anual (a) i interanual (b). Episodis classificades en termes dels seus escenaris sinòptics: NAH-S (Barres blanques), AD (barres verdes), NAD (barres vermelles), i NAH-A (blau bars). Els quatre escenaris sinòptics són els descrits anteriorment.

Imatge 60: Nombre de dies d'episodi de pols per al període (2003-2014) a la península ibèrica.



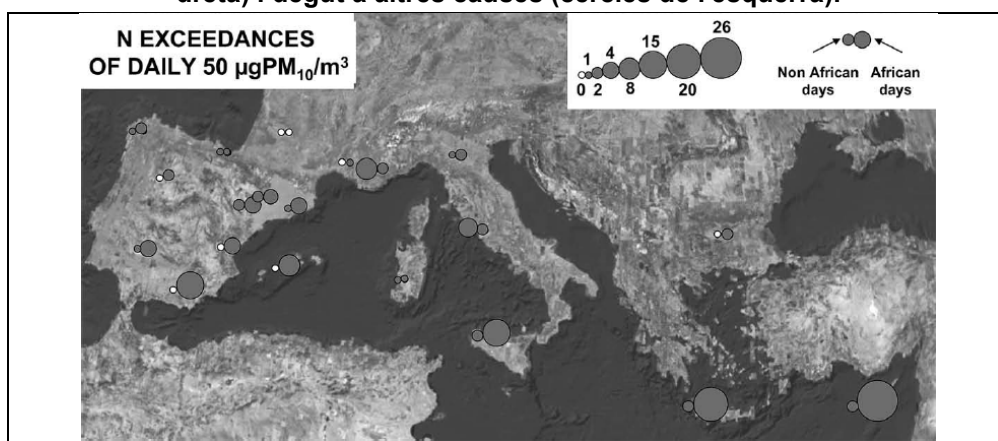
Font: Cachorro et al., (2016)

En aquest cas, la freqüència de les situacions sinòptiques NAH-A es de 53%, NAH-S de 25%, AD 16% i NAD 6%. La qual cosa representa un canvi de freqüència respecte al estudi d'Escudero et al., (2005) per a les situacions NAH-S i NAD (13% i 20% respectivament). Crida la atenció la reducció dels episodis d'intrusió als anys 2013 i 2014, especialment per NAH-A i NAH-S, la qual cosa coincideix amb la reducció dels nivells de partícules a Barcelona en aquells anys.

Aquestes i altres estudis coincideixen en que sota determinades característiques de circulació atmosfèrica, es produeixen els episodis d'intrusió Saharià i que la seva contribució a nivell episòdic és molt important a la conca mediterrània, com mostra Querol et al., (2009) en l'estudi sobre la contribució del pols Africà a la conca mediterrània.

A la figura següent es mostra el nombre d'excedències del límit diari de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} ocorreguts per algunes estacions de fons al Mediterrani pel període 2001-2007 (Querol et al., 2009).

Imatge 61: Nombre anual de superacions de la mitjana diària de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a causa de pols africana a les estacions de fons del Mediterrani (cercle de la dreta) i degut a altres causes (cercles de l'esquerra).



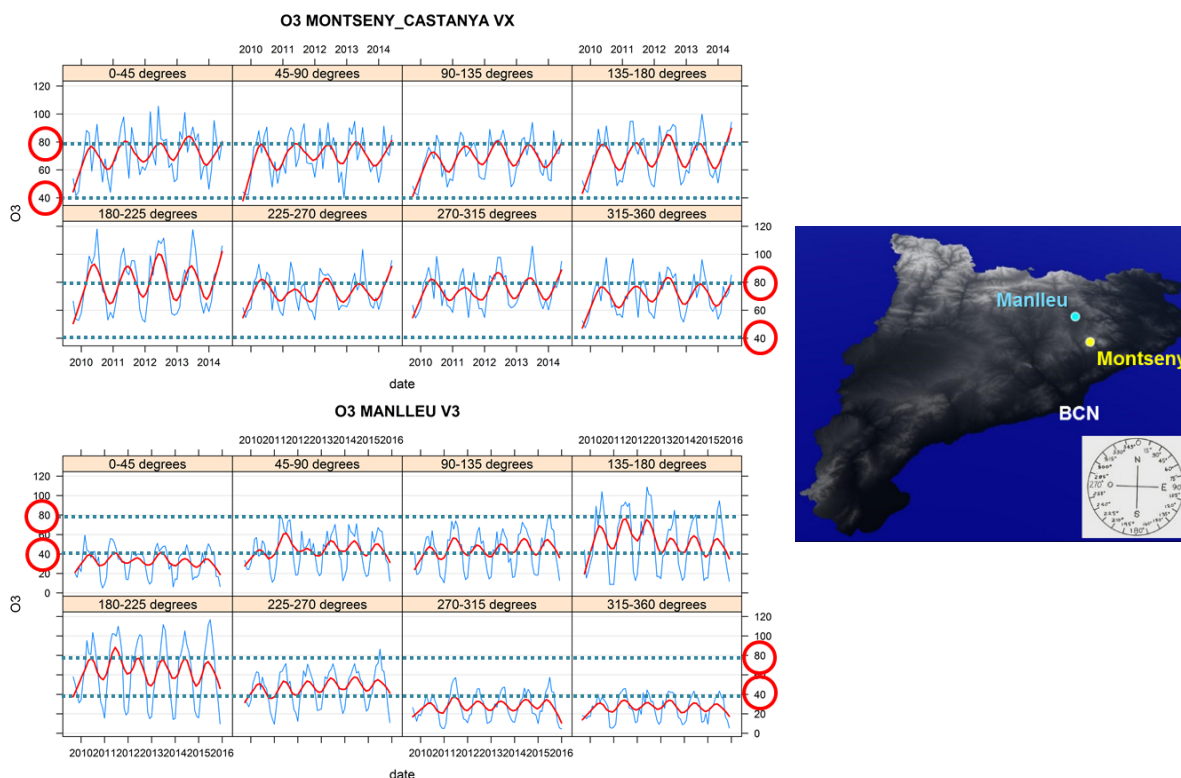
Font: Querol et al., (2009)

En aquesta figura es pot veure com per la península ibèrica la major part de les excedències durant aquest període es presenten en dies d'intrusió, en el cas de Montseny correspon a 4 dies d'intrusió, respecte a un dia sense intrusió i en mitjana anual aquesta contribució pot ser d'entre $5\text{-}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Querol et al., 2009).

6.1.2. DINÀMICA DE L'OZÓ

L'ozó té una important variabilitat temporal (estacional i diària), degut al seu caràcter fotoquímic, per tant presenta els seus valors màxims l'estiu, però també té una gran variabilitat espacial. Per il·lustrar aquesta variabilitat, a la figura següent es mostra la distribució anual per sector del vent de la concentració de l'ozó en dues estacions de fons: Montseny (fons rural) i Manlleu (fons suburbà).

Imatge 62: Variació de la concentració de l'ozó amb la direcció del vent en dues estacions de fons



Font: Barcelona Regional amb dades de la XEMA

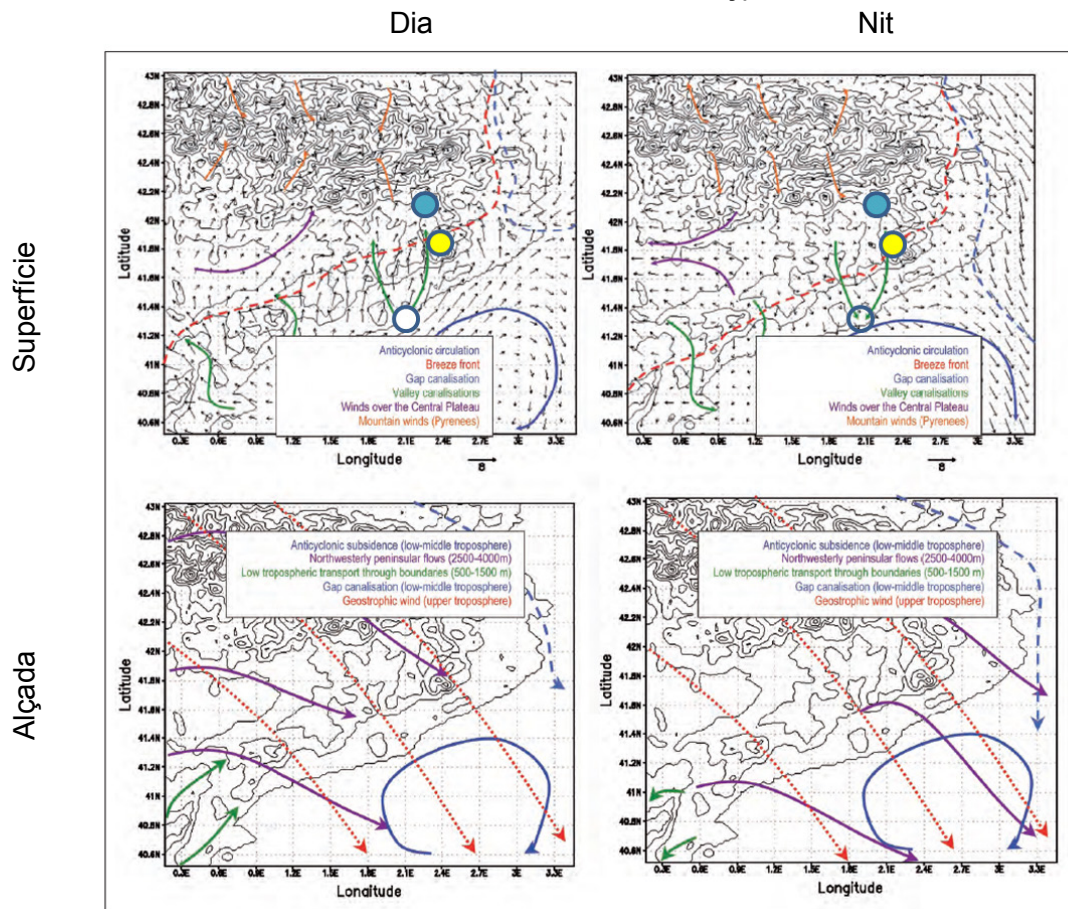
Totes dues estacions es troben al nord de Barcelona les quals reben l'influència de les emissions dels precursors de l'ozó (NO_x i COVS) d'aquesta ciutat i de les emissions que recullen en el seu recorregut. A les gràfiques es destaca els valors de 40 i 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, per ressaltar les diferències de concentració en cada sector del vent.

En el cas de l'estació de Montseny es pot veure que els valors màxims es mantenen de forma generalitzada sobre els 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, excepte al sector 180-225 graus on arriba a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Els mínims es troben prop dels 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en totes les direccions.

Per contra, per l'estació de Manlleu a la Plana de Vic, els màxims es troben prop dels 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, però únicament per dos dels sectors amb vents del sud (135-180 i 180-225 graus). Per vents del nord (sector 0-45, 270-315 i 315-360 graus) les màxims es troben sobre els 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i els mínims propers als 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aquestes diferències es deuen als diferents fenòmens de circulació que tenen lloc a l'atmosfera a la costa mediterrània. Per il·lustrar aquest comportament, la figura següent mostra la representació conceptual del règim de flux durant el dia (esquerre) i la nit (dreta), els quals controlen els nivells de contaminació en superfície (superior) i la dinàmica atmosfèrica en alçada (inferior) en un dia típic d'episodi d'ozó a l'estiu (adaptat de Baldasano et al., 2006).

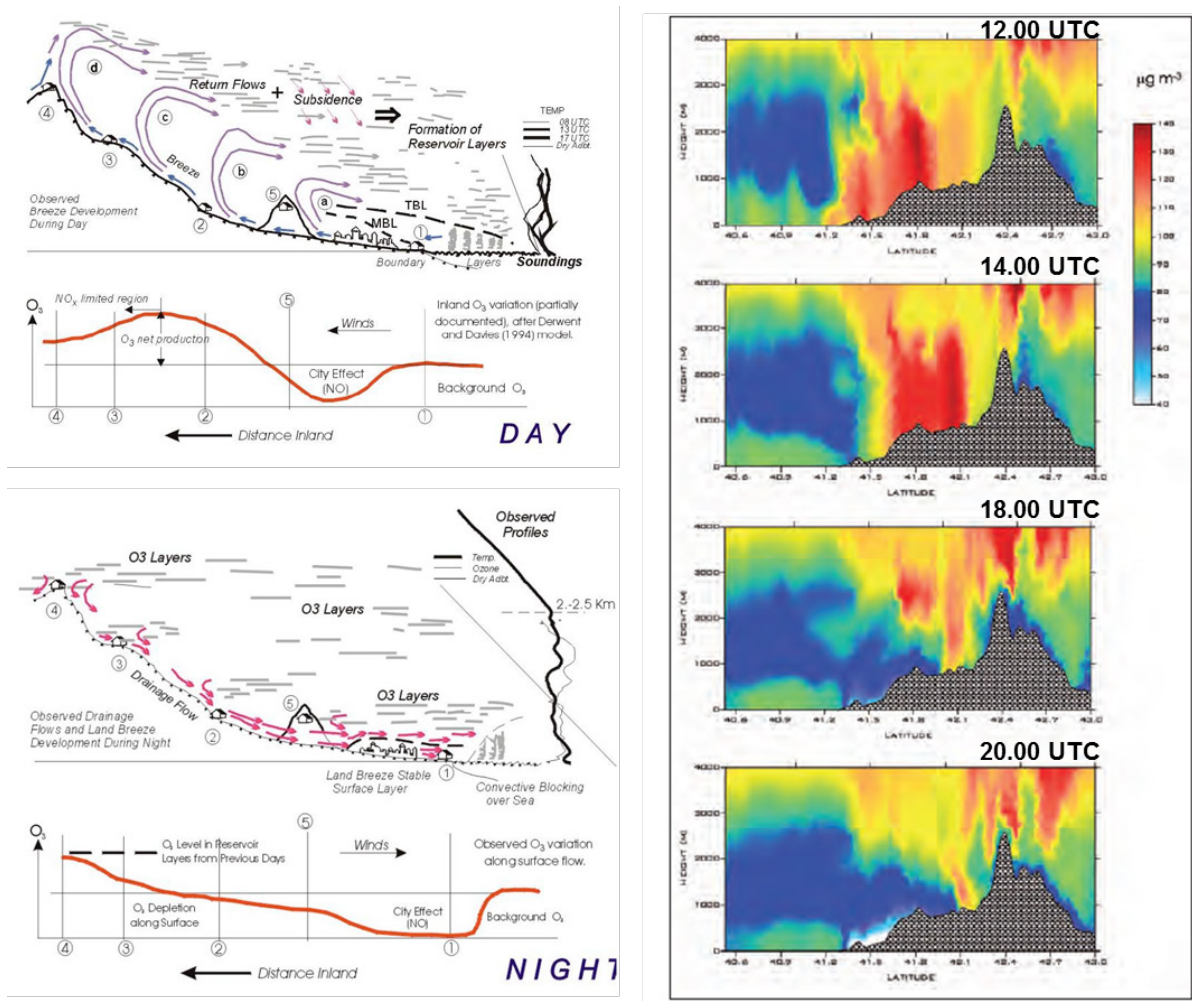
Imatge 63: Règim de flux durant el dia (esquerre) i nit (dreta) durant un dia tipus d'episodi de contaminació per ozó a l'estiu. (punts: blau estació de Manlleu i vermell estació de Montseny)



Font: Adaptat de Baldasano et al., (2006)

En presència d'una situació anticiclònica sobre el Mediterrani (veure figura següent), es formen una sèrie de fluxos de recirculació, tant en superfície com en alçada (Anticyclonic circulation i anticyclonic subsidence, respectivament), aquests fluxos són responsables de l'acumulació d'una massa fotoquímicament activa (rica en ozó i altres contaminants secundaris) que és introduïda durant el dia per les brises marines.

Imatge 64: Esquema vertical de la dinàmica dels contaminants al perfil ciutat-mar per Barcelona.



Font: Millán M. (2009) i Baldasano et.al. (2006)

Com a exemple, a l'estació de Manlleu, degut a les canalitzacions de les valls del riu Besòs cap a la plana de Vic, masses riques en ozó i els seus precursors (NO i COV's) són transportats per les brises durant el dia des del Mediterrani i des de Barcelona, reaccionant durant el trajecte, incrementant la concertació d'ozó a la zona de la plana de Vic (veure figura 29, el vent de muntanya (Mountain winds) durant el dia té una component nord). A la nit, les masses amb component sud normalment tenen un excés de NO, retornen per les canalitzacions i destrueixen l'ozó, Aquestes circulacions explica'n el canvi abrupte de concentració amb la direcció del vent per la estació de Manlleu, per l'efecte dia – nit.

Pel que respecte a l'estació del Montseny, les brises marines durant el dia provoquen l'increment dels nivells de concentració d'ozó en gairebé totes les direccions, especialment amb vent del sud. Per la nit no s'observa un important efecte de destrucció d'ozó donat que l'estació es troba fora de l'efecte de la canalització degut a que la massa de contaminant, que és més freda i pesada, es concentra en superfície a baixa altitud, mentre que la estació meteorològica es troba a 693 m d'alçada.

En alçada, i com es pot veure a la figura anterior, hi ha un altre tipus d'influència, per una banda el transport d'ozó a la baixa troposfera (500-1500 m) des del centre i costa peninsular; a mitja alçada (2500-4000m) transport per vents del NW peninsular amb influència Atlàntica, altres canalitzacions regionals amb influència continental i per vents geostrofics en l'alta troposfera amb influència global. Aquests fluxos en alçada no tenen gairebé variació entre el dia i la nit, però si canvien segons la situació sinòptica la qual cosa pot contribuir al transport de ozó des d'altres latituds.

Així mateix, durant el dia les brises transporten a l'interior tant, l'ozó acumulat a les capes baixes del reservori del Mediterrani, com els precursors al pas per les ciutats. Durant el recorregut, el vent es troba amb barreres orogràfiques que provoquen la injecció vertical de part de l'ozó transportat a capes superiors, i degut als vents en alçada són retornats al reservori.

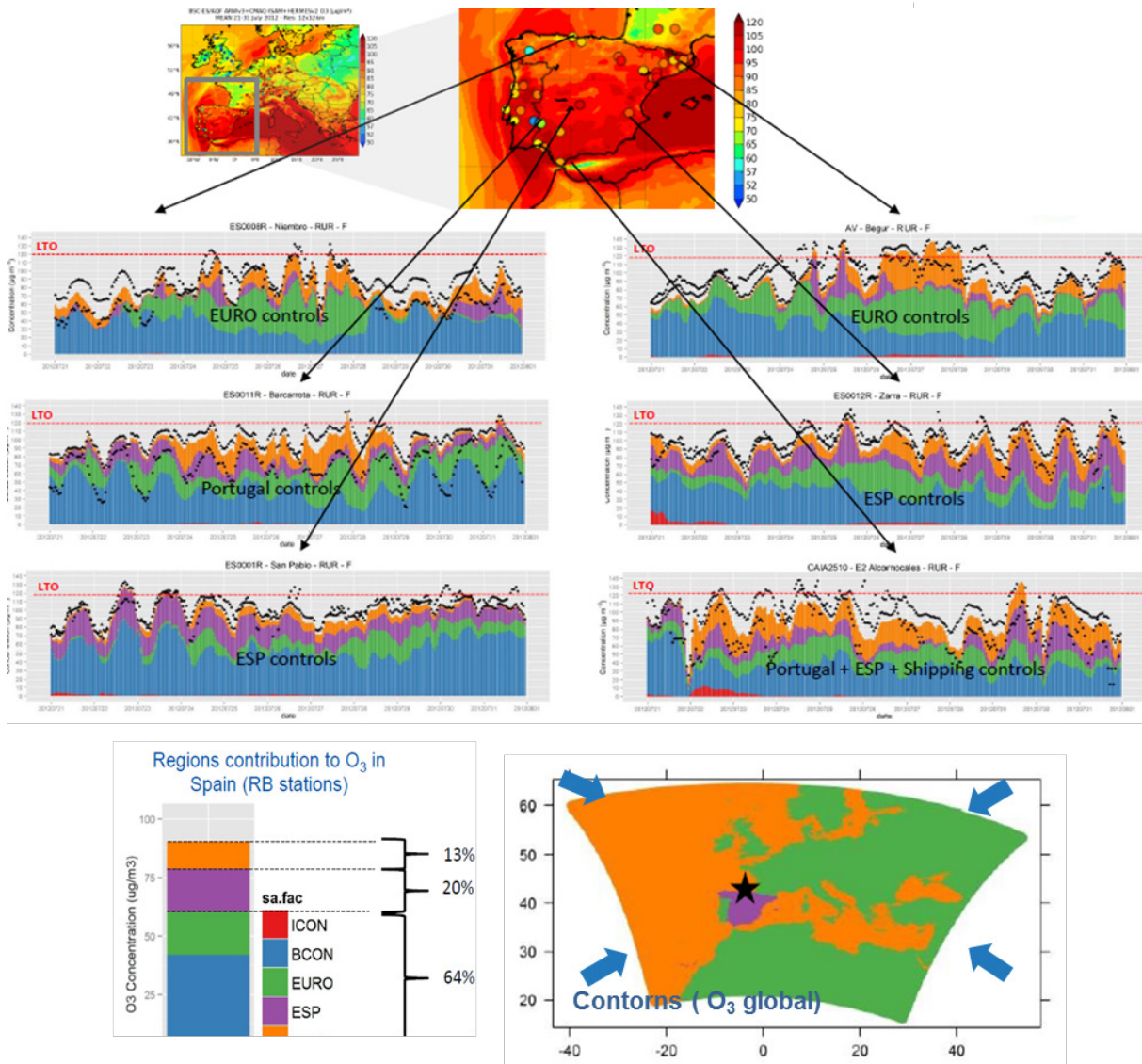
A la nit el flux té un sentit contrari i les masses de ozó descendeixen (fluxos de drenatge) i l'ozó es consumit a les àrees urbanes pel NO a nivells per sota de la concentració de fons. Aquest esquema és el més típic quan hi ha un anticicló al Mediterrani que produeix situacions d'estabilitat atmosfèrica que dificulten el moviment vertical i horitzontal de l'atmosfera, afavorint la re-circulació de l'ozó sobre el mar, i al front de Barcelona durant el cicle dia-nit. Poden presentar-se diferents patrons de circulació atmosfèrica, com es veurà més endavant, però tots ells tenen com element comú una situació anticiclònica sobre la península ibèrica.

No obstant i com s'ha assenyalat abans, a escala local l'ozó pot tenir diferents fluxos en funció de la ubicació del receptor i la situació meteorològica, però l'efecte de la contribució a nivell regional i global pot ser molt més important. En aquest sentit, Pay et.al., (2015) mostra la contribució per algunes estacions de fons a la península Ibèrica per un episodi de contaminació per ozó al juliol de 2012.

En aquell estudi s'analitza la contribució per tipus de font: ICON (condicions inicials del model), BCON (contribució dels contorns), EURO (zona continental-Europa i Àfrica), SHIPPING (mar Mediterrani i oceà atlàntic) i ESP (Espanya).

Als mapes es pot observar la important contribució dels contorns (BCON) que fan referència als contaminants que ingressen al domini de la simulació des de la escala global. El segon lloc a la contribució d'ozó per origen regional (EURO-AFRICA), amb la màxima aportació per aquest episodi a l'estació de Begur. Així, totes dues fonts tenen una aportació al voltant del 64%.

Imatge 65: Contribució regional per origen als nivells de l'ozó a la Península Ibèrica



Font: Pey et.al, 2015

6.1.3. DINÀMICA DEL NO₂

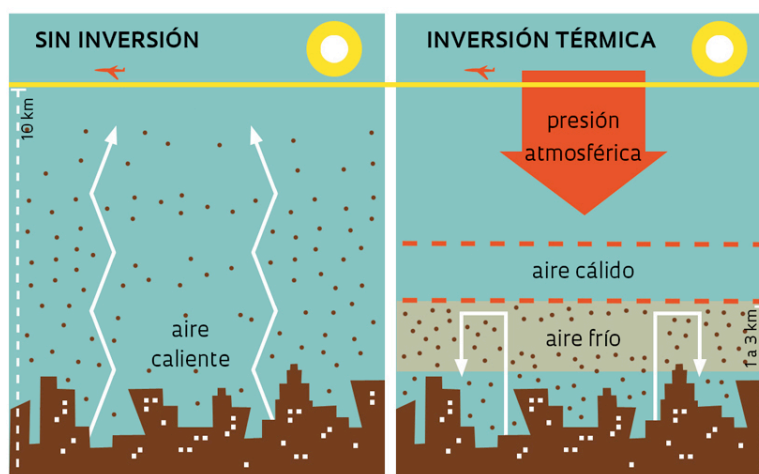
Les situacions d'estabilitat estan fortament relacionades amb situacions anticiclòniques, que a la vegada poden produir les inversions tèrmiques, que es generen quan el canvi de la temperatura amb l'altitud és invers a la situació normal, i per tant l'aire de sota (on s'emeten els contaminants) és fred i més dens que el de sobre, i tendeix a quedar-se on és, en comptes d'ascendir i dispersar els contaminants.

Hi ha tres tipus d'inversions tèrmiques:

1. Inversió de radiació: quan el sol es pon, deixa d'escalfar el terra, que comença a refredar-se. L'aire en contacte amb el terra es va refredant i d'aquesta manera ens trobem que l'aire de més a sota és més fred que l'aire de capes superiors. Aquest fenomen dificulta la dispersió dels contaminants especialment durant la nit i les primeres hores del matí, fins que el sol és prou fort per tornar a escalfar el terra, o quan el vent barreja les capes d'aire i en dilueix la inversió. És molt freqüent a l'hivern.

2. Inversió d'advecció: quan una massa d'aire és transportada sobre un terra més fred, amb la qual cosa trobem altra vegada que l'aire immediatament en contacte amb el terra és més fred que el de capes superiors.

Imatge 66: Representació de la inversió tèrmica



Font: Revista Pesquisa FAPESP, 2016

3. Inversió de subsidència: quan el moviment descendent que genera un anticicló potent empeny una capa d'aire cap avall, amb la qual cosa es va comprimint i escalfant, de tal manera que arriba a ser més calenta que l'aire de capes inferiors. Aquest fenomen dificulta la dispersió dels contaminants perquè suposa com un tap al moviment vertical de l'aire. Per sota l'aire es pot barrejar bé, però quan arriba a la inversió es troba amb un obstacle. Sol durar diversos dies i és el fenomen que pot provocar les situacions de contaminació més adverses quan la inversió es troba a prop del terra i no queda espai per tal que els contaminants es dispersin.

Durant una situació meteorològica marcada per un anticicló potent es poden barrejar aquests tipus d'inversió. Quan es presenta la situació de subsidència, generalment els episodis de contaminació es deuen al increment acumulatiu de les emissions locals de contaminants.

6.2. METODOLOGIA UTILITZADA PER L'ANÀLISI DE LES SITUACIONS SINÒPTIQUES

6.2.1. CLASSIFICACIÓ SINÒPTICA

L'enfocament metodològic proposat s'articula en tres etapes: una reducció de les variables en base a una Anàlisi de Components Principals (PCA) i una classificació a partir d'una Anàlisi Clúster (CA), però a més s'inclou un tercer pas, una Anàlisi Discriminant (DA) amb l'objectiu de validar els resultats obtinguts (Aran et al., 2010).

Imatge 67: Esquema metodològic

ANALYSIS		OBJECTIVE
Principal Component S-Mode		Reduction number of variables
Cluster	Hierarchical	Number of cluster (n)
	K-means	Classification in n-clusters
Discriminant		Evaluation of the classification goodness
		Reclassification

Font: SMC

S'aplica el PCA a la matriu d'observacions en S-Mode, això significa, les variables (columnes) són els punts de grid i els dies són les observacions (files), de forma individual a cadascun dels nivells atmosfèrics analitzats (SLP, T850 i Z500). Aquesta anàlisi s'utilitza amb l'objectiu de reduir el nombre de variables per a la posterior classificació que es farà amb el CA. S'ha treballat amb la matriu de correlació, i el scree-test s'ha fet servir com a criteri per a determinar el nombre de factors. Finalment, els factors s'han rotat a partir de la rotació ortogonal Varimax que redueix la dependència entre components i satisfà la condició d'ortogonalitat del model a partir d'una minimització del nombre de variables amb una alta càrrega factorial.

Per a determinar el número de patrons sinòptics s'utilitzarà la matriu construïda a partir de les puntuacions (obtingudes del PCA per a cadascun dels dies) de les tres variables analitzades a la qual s'aplica el CA. Els grups resultants del CA corresponen als principals patrons atmosfèrics relacionats amb els episodis de contaminació a Catalunya. El CA es basa en dues fases: per a determinar el número de grups s'utilitza un procés de classificació no-hieràtic, mentre que per a classificar els episodis de contaminació (dies) en cada grup es farà servir el mètode de k-Means.

El DA és el tercer i últim pas per a la validació del model i proposa una nova classificació dels casos dubtosos. La matriu de puntuacions obtinguda del PCA i utilitzada en el CA es fa servir com a predictor, mentre que els grups obtinguts del CA per a cada dia són els predictands. Cada esdeveniment s'assigna als tipus sinòptics d'acord amb les qualificacions obtingudes a partir de les funcions discriminants i finalment un procés de validació creuada és usat per a la nova classificació.

6.2.2. MODELITZACIÓ CLIMÀTICA

Correcció del Model de Circulació Climàtic General

Les simulacions dels MCCG s'han d'utilitzar amb precaució, ja que sovint mostren biaixos significatius (Teutschbein i Seibert, 2012). Les raons d'aquests biaixos:

1. Els errors sistemàtics del model provocades per una imperfecta conceptualització, discretització i mitjana espacial dels punts de grid.
2. Els biaixos típics són l'estimació incorrecta de temperatura extrema (Inés i Hansen, 2006)

Això fa que l'ús de simulacions del MCCG com a dades d'entrada directa pels estudis d'impacte dels extrems en el clima sigui més complicat.

Els mètodes utilitzats per a corregir aquests tipus de biaixos són fonamentalment dos, basats en: afegir la diferència entre el període del MCCG de control i el període de l'escenari corresponent del MCCG (mètode Delta); o eliminar el biaix que hi ha entre el període de control del MCCG i el període de control observat, i aplicar-ho al període simulat de l'escenari corresponent (mètode Esbiaixat: Déqué, 2007). El problema principal que es deriva d'aquests mètodes radica en no considerar la variabilitat inherent en el clima de tal manera que la simulació del MCCG pot quedar contaminada per la variabilitat pròpia del període de control observat.

Per intentar preservar la variabilitat en el MCCG s'aplica el mètode Quantile–Quantile Mapping Transformation (Wood et al. 2004), basat en una correcció de la funció de distribució acumulada (CDF) del MCCG a partir de la CDF observada. Es crea una funció de transferència per a canviar la probabilitat d'ocurrència en base a la distribució Gamma (Thom, 1958) amb un paràmetre forma (α) i un paràmetre d'escala (β), a partir de la següent equació.

$$f_{\gamma}(X | \alpha, \beta) = x^{\alpha-1} \cdot \frac{1}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}; x \geq 0; \alpha, \beta > 0 \quad (1)$$

L'algorisme està basat en el mètode d'Amengual et al. (2012). El procediment consisteix en calcular els canvis, quantil a quantil, en les CDF del període observat i del MCCG en el període comú 2006-2015, i les CDF dels successius segments temporals de 15 anys en el MCCG a partir del 2016. El biaix es reajusta sobre la base de la CDF observada en el període comú, i després s'afegeixen, quantil a quantil, a les observacions del MCCG per obtenir nous CDF pel període 2006-2100 calibrat que transmeten el senyal de canvi climàtic.

L'ajust estadístic es pot escriure com la relació entre els valors de rang i-èsim obtinguts de les corresponents CDFs del període comú observat (O_i), del període comú simulat (S_{ci}) i del període futur simulat (S_{fi}). El valor calibrat del MCCG (P_i) s'obté a partir de:

$$P_i = O_i + g\bar{\Delta} + f\Delta'_i \quad (2)$$

on:

$$\Delta_i = S_{fi} - S_{ci} \quad (3)$$

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^N S_{fi} - S_{ci}}{N} \quad (4)$$

$$\Delta'_i = \Delta_i - \bar{\Delta} \quad (5)$$

$$g = \frac{\sum_{i=1}^N O_i / N}{\sum_{i=1}^N S_{ci} / N} \quad (6)$$

$$f = \frac{\sigma_o}{\sigma_{S_c}} \quad (7)$$

on: N és el número de dades

σ és la desviació típica.

Identificació patrons sinòptics en el Model de Circulació Climàtic General corregit

Una vegada corregit el MCCG s'han d'identificar els patrons sinòptics susceptibles de provocar episodis de contaminació a Barcelona en el període 2016-2100. Per aquesta tasca s'aplicarà el següent esquema metodològic.

1. Es determinaran els patrons sinòptics pel període 2006-2015 en el MCCG corregit seguint la metodologia explicada a l'apartat anterior.
2. La T850 dels patrons obtinguts és la variable predictora, mentre que el grid de T850 del MCCG corregit és la variable predictand.
3. La identificació dels patrons sinòptics en el període 2016-2100 es fa en quatre passos:
 - Es calcula el coeficient de correlació de Pearson (r) entre la variable predictora i la predictand pel període 2006-2015 en el MCCG corregit.
 - Es calcula la suma del error al quadrat del model de regressió (SSE) en base a:

$$SSE = \sum_{i=1}^N [y_i - (\hat{\gamma} + \hat{\delta} \cdot x_i)]^2 \quad (8)$$

on: y_i i x_i és la variable predictand i predictora, respectivament.

$\hat{\gamma}$ és la intercepció del model regressió, i la pendent respectivament

$\hat{\delta}$ la pendent del model de regressió

- Els dos paràmetres (r i SSE) obtinguts del MCG corregit són calibrats en el període 2006-2015 ($radj$ i SSE_{adj}), de tal manera que el número d'episodis entre el període observat i el simulat sigui el mateix.
- Es calcula r i SSE entre la variable predictora i la predictand pel període 2016-2100, agafant aquells dies que compleixen que $r > radj$ i $SSE > SSE_{adj}$.

6.3. DIES IDENTIFICATS COM D'ALTA CONCENTRACIÓ PER L'ANÀLISI DELS PATRONS SINÒPTICS

6.3.1. DIES D'ALTA CONCENTRACIÓ DE PM₁₀ PER PATRÓ (AAMMDD)

Patró PM10_1

060309 060413 061030 070111 070119 071023 071213 071215 080122 080123 080124 080125 080126 080127
081224 090513 091126 101213 110119 110406 110409 110410 110414 111013 120302 121010 130111 141020

Patró PM10_2

060203 060315 060421 060619 060801 060904 060905 060907 061028 070206 070917 080111 080207 080224
080911 081222 090227 090311 090312 090314 090315 090512 090520 090522 090523 090524 091117 091118
091125 091210 100122 100123 101222 110115 110210 110621 111012 120301 120326 120624 121009 121019
121212 140318 140624 141121 141122 141123 141124 141129 141130 150414 150415 150416 150426

Patró PM10_3

060202 060317 060404 060408 060428 060906 061115 070624 070625 070626 070914 071113 080110 081223
090324 091211 100319 100916 101228 101229 110114 110209 110407 110408 111001 120225 120329 140401

Patró PM10_4

060118 060119 060120 060204 060205 060206 060208 060209 060210 060214 060215 060216 060323 060422
060425 060505 060506 060507 060526 060527 060528 060602 060607 060608 060727 060728 060729 060730
060731 060802 060824 060825 061111 061230 070207 070302 070305 070306 070422 070423 070424 070511
070724 070728 070729 070731 070803 071019 071106 071109 071110 071111 071112 071129 071130 071201
071204 071205 071207 080227 080229 080403 080806 080917 081016 081017 081219 090218 090219 090313
090326 090529 090724 110207 110211 110212 110213 110326 110413 110624 111018 111125 120119 120120
120126 120127 120227 120315 131210 140319 140926 141022 141023 141024 141025

Patró PM10_5

060426 060427 070223 071229 080405 110523 120309 120310 120311 140315

Patró PM10_6

060414 060508 060520 061110 061231 070314 070730 071214 080223 080703 080705 081007 081021 090318
090319 090320 090423 090424 090507 090703 091112 091114 091120 100317 110126 110206 110401 110405
110929 110930 120223 120224 150311 150312 150313

Patró PM10_7

060125 070216 070614 071119 071120 080704 090415 091113 100624 120314

Patró PM10_8

060328 060329 060330 060401 060402 060403 060621 061116 070120 070301 070916 080130 080131 080201
080226 080409 080410 080619 081015 110310 141224 150115

Patró PM10_9

060113 060114 060115 060316 060321 060326 060327 060331 060405 060503 060504 060509 060512 060516
060517 060518 060519 060523 060609 060610 060611 060616 060617 060618 060620 060622 060623 060624
060625 060626 060627 060628 060629 060630 060702 060703 060704 060705 060706 060707 060708 060709
060710 060711 060712 060713 060714 060715 060718 060719 060720 060721 060725 060726 060901 060908
060909 060910 060913 061017 061018 061027 061029 061031 061126 061127 061128 061228 061229 070105
070215 070315 070316 070608 070609 070610 070611 070612 070613 070615 070630 070720 070725 070726
070727 070907 070913 071121 071122 071206 071219 080128 080129 080208 080217 080225 080228 080426

080625 080627 080628 080629 080630 080701 080702 080710 080711 080805 080811 080812 080829 080902
080903 080904 080905 080918 081014 081022 090130 090226 090228 090317 090327 090425 090521 090525
090526 090527 090528 090624 090630 090730 090731 090818 090819 091006 091008 091119 091121 100318
100320 100321 100429 100625 100629 100630 100701 100702 100708 100709 100717 101009 101028 101029
110113 110208 110311 110513 110524 110525 110526 110629 110630 110701 110702 110706 110823 110824
110825 110826 110901 110902 110928 111002 111003 111004 111005 111006 111011 111111 111129 111130
111201 111202 120111 120112 120226 120312 120313 120316 120327 120328 120426 120427 120428 120509
120510 120511 120608 120621 120622 120623 120627 120628 120629 120630 120801 120821 120822 120823
120824 120825 120907 121020 130417 130418 130618 131204 131211 131212 131217 140311 140312 140320
140402 140403 140609 140610 140611 140612 140613 141009 141010 141030 141031 141125 141126 141214
150114 150212 150213 150220 150512

Patró PM10_10

060126 060207 060211 060322 060420 060510 060511 060513 060529 060603 060701 060808 060809 060810
061026 061101 061114 070130 070131 070417 070427 070828 070829 070915 070918 071029 071030 071107
071108 071114 071115 071116 071117 071118 071127 071128 080222 080404 080620 080621 080626 080919
081001 081002 081119 090316 090325 090604 090605 090619 090820 091007 100313 100827 101221 110112
110125 110415 111007 111019 120330 120331 120531 120601 120718 120724 141021 150506

6.3.2. DIES D'ALTA CONCENTRACIÓ D'O₃ PER PATRÓ (AAMMDD)

Patró O3_1

060716 060811 090602 090603 090604 090607 100411 100417 100508 100511 100711 100721 110415 110416
110417 110419 110420 110428 110501 110504 110605 110704 120402 130604 140518 140519 140520 140604
140618 140619 140627 140912 140913 150310 150311 150425 150502

Patró O3_2

090505 100702 100703 100704 100705 110409 110508 110511 110512 110513 110514 110516 110930 120315
120501 120729 130613 130830 140602 140607 140608 150411 150412 150413 150414 150506

Patró O3_3

060714 060715 090918 100416 100419 100420 100424 100425 100512 100513 100526 100627 100628 100629
100712 100906 100907 110418 110421 110422 110423 110427 110526 111001 120325 120327 120329 120330
120331 120429 120430 120520 120621 120726 120805 120825 120906 120909 130507 130508 130711 130712
130713 130823 130824 140620 140621 150503 O3_4

Patró O3_4

060713 060717 060810 070605 080508 090701 090702 090703 090704 090705 090724 090809 090812 090813
090814 090815 090911 090912 090925 090926 090927 100412 100418 100428 100429 100430 100521 100522
100523 100524 100525 100619 100625 100626 100630 100701 100706 100713 100718 100804 100822 100904
100905 110407 110408 110410 110411 110412 110515 110521 110522 110523 110524 110525 110606 110629
110705 110915 110928 110929 111002 111003 111004 111005 111006 120326 120328 120401 120417 120418
120502 120503 120504 120505 120510 120515 120516 120524 120525 120526 120527 120528 120529 120601
120602 120603 120624 120625 120803 120804 120810 120811 120820 120821 120822 120823 120824 120826
120903 120904 120905 120907 120908 120912 130420 130423 130424 130425 130502 130503 130504 130505
130506 130526 130531 130601 130602 130603 130612 130616 130629 130707 130708 130709 130710 130714
130715 130716 130717 130718 130719 130720 130721 130722 130723 130724 130729 130810 130811 130818
130822 130831 130901 130902 130903 140318 140603 140613 140614 140617 140726 140727 150424 150507
150510 150511 150512

6.3.3. DIES D'ALTA CONCENTRACIÓ DE NO₂ PER PATRÓ (AAMMDD)

Patrò NO₂_1

060427 060622 061213 061214 061231 070309 070310 070311 070312 070419 070420 070427 071228
080123 080124 080128 080402 080417 080620 080621 081210 081222 090113 090422 091210 100312
100313 100410 101027 101028 101228 110203 110204 110205 110206 110208 110505 110524 110525
110526 111110 120214 120222 120223 120310 121008 121009 130104 141211 150102 150306 150310

Patrò NO₂_2

060202 060328 060329 060725 060726 061227 061228 061229 070111 070112 070113 070120 070203
070228 070301 070314 070315 070316 070317 070417 080127 080129 080130 080410 080717 081223
081224 090312 090324 091117 091118 091230 100426 101223 110113 110114 110211 110410 110927
110928 111013 111226 120201 120229 120303 120304 120325 121122 131125 131208 131212 131213
140109 140314 141223 141224 150108 150111 150113 150114 150311 150410 150415

Patrò NO₂_3

060203 060209 060309 060315 060316 060317 060324 060330 060331 060623 060629 060711 060712
060713 060714 060717 060718 060929 061030 061031 061109 061120 061124 061128 061204 061205
061226 061230 070110 070131 070216 070217 070327 070328 070507 070509 070510 070511 070525
070828 070829 071023 071108 071112 071114 071119 071120 071121 071122 071204 071214 080103
080205 080206 080207 080208 080215 080227 080307 080312 080314 080403 080409 080418 080425
080503 080509 080627 080905 081002 090204 090213 090226 090227 090228 090313 090314 090315
090317 090318 090319 090423 090424 090503 090504 090507 090508 090619 090630 090701 090702
090819 090820 090924 091008 091030 091125 091126 091203 091211 091224 100114 100115 100122
100129 100203 100204 100311 100316 100318 100422 100427 100428 100429 100524 100526 100626
100629 100630 100701 101029 101103 101104 101213 101219 110119 110125 110126 110127 110128
110218 110219 110223 110224 110225 110401 110407 110408 110409 110427 110428 110513 110923
110930 111003 111004 111005 111006 111010 111011 111012 111027 111111 111221 111227 120104
120111 120126 120127 120207 120224 120225 120226 120301 120302 120312 120313 120314 120316
120317 120326 120327 120328 120329 120330 120331 120511 120512 120524 120525 120530 120531
120601 120620 120626 120627 120628 120803 121003 121004 121005 121101 121109 121123 121211
121212 121220 130107 130108 130109 130110 130111 130112 130214 130226 130307 130315 130416
130417 130418 130508 130709 131015 131204 131218 140103 140307 140315 140317 140612 140613
141021 141024 141025 141114 141212 150115 150116 150210 150212 150312 150422 150512

Patrò NO₂_4

060117 060426 070130 070208 070220 070221 070222 070423 070424 070425 070506 080226 110212
110213 110214 110325 111228 120117 120308 130220 140123 140318

Patrò NO₂_5

060630 060701 061106 061107 061108 061110 061114 061115 061116 061117 061225 070215 070313
070418 070523 071029 071031 071218 071219 071220 071224 080211 080222 080223 080622 080829
081001 081219 090205 090529 090814 090818 090925 090930 091006 091007 091222 091223 100202
100217 100223 100302 100416 100417 100419 100420 100421 100627 100628 100702 100703 101220
101221 101222 101229 110207 110209 110306 110318 110324 110406 110929 111125 120216 120217
120315 121030 121121 130227 130302 130303 130304 130712 130719 131209 131210 131211 130416
131120 131128 150112 150211 150409 150414 150423 150424

6.4. DADES UTILITZADES PER A L'ANALISI ESTADÍSTIC AMB EL MODEL GAM

6.4.1. DADES DE QUALITAT DE L'AIRE

S'han utilitzat les dades de qualitat de l'aire de 39 estacions de la XVPCA de tot Catalunya (7 estan a Barcelona). La selecció d'estacions s'ha fet segons els següents criteris:

- Totes les estacions automàtiques de la XVPCA que hi ha a Barcelona i a l'AMB
- La resta d'estacions automàtiques de FONS de la XVPCA de Catalunya que estiguin ubicades a prop d'una estació meteorològica

En total el nombre d'estacions utilitzades per tipus és el següent:

Taula 14: Nombre d'estacions automàtiques de la XVPCA utilitzades per tipus

TIPUS ESTACIÓ	TIPUS ÀREA	nombre
FONS	RURAL	9
FONS	SUBURBANA	9
FONS	URBANA	11 (5 a Barcelona)
INDUSTRIAL	SUBURBANA	5
INDUSTRIAL	URBANA	1
TRÀNSIT	SUBURBANA	2
TRÀNSIT	URBANA	2 (2 a Barcelona)
TOTAL	---	39 (7 a Barcelona)

Font: Barcelona Regional

No totes les estacions mesuren els tres contaminants estudiats (O₃, NO₂ i PM₁₀), per tant segons el contaminant hi ha més o menys estacions amb dades disponibles, a continuació es mostra el nombre d'estacions utilitzades segons contaminant:

Taula 15: Nombre d'estacions automàtiques de la XVPCA utilitzades per tipus

TIPUS ESTACIÓ	CONTAMINANT	nombre
TOTAL	O ₃	31 (6 a Barcelona)
TOTAL	NO ₂	30 (7 a Barcelona)
TOTAL	PM ₁₀	17 (6 a Barcelona)

Font: Barcelona Regional

Les dades de qualitat de l'aire (horàries o semihoràries) s'han transformat a mitjanes diàries.

A continuació es mostren les taules de les dades utilitzades per estació (des del registre inicial fins a l'últim registre) i per contaminant, es mostra també a la última columna de les taules la mitjana diària total del període indicat:

Taula 16: Dades utilitzades per al model d'O₃ i mitjana diària del total de dades.

Estació XVPCA	MUNICIPI	registre inicial utilitzat	registre final utilitzat	O ₃
AMPOSTA	Amposta	25/02/1992	31/12/2015	53,2
BEGUR	Begur	11/02/1996	31/12/2015	79,0
BELLVER_CERDANYA	Bellver de Cerdanya	22/05/2001	31/12/2015	59,2
BERGA	Berga	01/05/2007	31/12/2015	60,4
GANDESA	Gandesa	30/11/2011	31/12/2015	74,5
LA_SENIA	Sénia, la	01/08/2004	31/12/2015	80,4
MANLLEU	Manlleu	31/03/1999	31/12/2015	41,2
MONTSENY_CASTANYA	Montseny	29/07/2008	31/12/2015	75,0
PONTS	Ponts	01/04/2001	31/12/2015	52,9
SANTA_MARIA_PALAUTORDERA	Santa Maria de Palautordera	24/08/1996	31/12/2015	48,8
SANTA_PAU	Santa Pau	25/04/1998	31/12/2015	55,9
SORT	Sort	31/07/2009	31/12/2015	51,5
VILADECANS_ATRIUM	Viladecans	23/11/2008	31/12/2015	57,4
VILAFRANCA_PENEDES	Vilafranca del Penedès	28/09/2005	31/12/2015	52,4
BD_AUSIAS_MARC	Badalona	05/12/2008	31/12/2015	46,9
G_PARC_MILENI	Gavà	01/01/2010	31/12/2015	56,1
MONTC_COMPANYS	Montcada i Reixac	01/01/2010	31/12/2015	36,3
PLL_CEM_SAGNIER	Prat de Llobregat, el	01/02/2011	31/12/2015	42,2
SAB_CEIP_JOSEP_PLA	Sant Andreu de la Barca	01/01/2010	04/01/2011	34,4
SCG_BALLDOVINA	Santa Coloma de Gramenet	01/01/2010	21/01/2011	39,1
SCV_PARC_S_FRANCESC	Sant Cugat del Vallès	01/01/2010	31/12/2015	40,0
SVH_RIBOT_S_MIQUEL	Sant Vicenç dels Horts	01/01/2010	31/12/2015	40,4
BCN_CIUADELLA	Barcelona	22/09/2006	30/12/2015	39,7
BCN_EIXAMPLE	Barcelona	17/10/2006	30/12/2015	31,9
BCN_GRACIA	Barcelona	11/10/2006	30/12/2015	36,8
BCN_PALAU_REIAL	Barcelona	17/03/2011	30/12/2015	53,9
BCN_POBLENOU	Barcelona	02/03/2007	10/01/2011	36,8
BCN_VALL_HEBRON	Barcelona	01/01/2008	30/12/2015	52,8
HOS_TORRENT_GOR	Hospitalet de Llobregat, l'	11/10/2006	11/01/2011	41,5
PR_JARDINS	Prat de Llobregat, el	01/12/2009	12/01/2011	47,2
SA_CANAL_OLIMPIC	Sant Adrià de Besòs	21/09/2005	30/12/2015	39,0

Font: Barcelona Regional

Taula 17: Dades utilitzades per al model d'NO₂ i mitjana diària del total de dades.

Estació XVPCA	MUNICIPI	registre inicial utilitzat	registre final utilitzat	NO ₂
AMPOSTA	Amposta	01/01/2010	31/12/2015	16,0
BELLVER_CERDANYA	Bellver de Cerdanya	10/02/2004	31/12/2015	7,7
BERGA	Berga	01/05/2007	31/12/2015	18,7
MANLLEU	Manlleu	31/03/1999	31/12/2015	23,1
MONTSENY_CASTANYA	Montseny	29/07/2008	31/12/2015	3,6
VILADECANS_ATRIUM	Viladecans	23/11/2008	31/12/2015	18,3
VILAFRANCA_PENEDES	Vilafranca del Penedès	10/11/2005	31/12/2015	20,0
BD_AUSIAS_MARC	Badalona	05/12/2008	31/12/2015	40,2
BV_MORAGUES_MONTSERRAT	Barberà del Vallès	01/01/2010	31/12/2015	41,3
G_PARC_MILENI	Gavà	01/01/2010	31/12/2015	15,1
MONTC_COMPANYS	Montcada i Reixac	01/01/2010	31/12/2015	41,5
P_ROCA_VILANA	Pallejà	06/10/2011	31/12/2015	20,8
PLL_CEM_SAGNIER	Prat de Llobregat, el	16/02/2011	11/09/2015	35,4
SAB_CEIP_JOSEP_PLA	Sant Andreu de la Barca	01/01/2010	31/12/2015	44,0
SCG_BALLDOVINA	Santa Coloma de Gramenet	01/01/2010	31/12/2015	39,6
SCV_PARC_S_FRANCESC	Sant Cugat del Vallès	01/01/2010	31/12/2015	30,2
SFLL_CEIP_MARTI_POL	Sant Feliu de Llobregat	01/01/2013	31/12/2015	21,8
SVH_ALABA	Sant Vicenç dels Horts	16/12/2011	31/12/2015	24,7
SVH_RIBOT_S_MIQUEL	Sant Vicenç dels Horts	01/01/2010	31/12/2015	35,7
BCN_CIUADELLA	Barcelona	22/09/2006	30/12/2015	42,3
BCN_EIXAMPLE	Barcelona	16/10/2006	30/12/2015	60,7
BCN_GRACIA	Barcelona	11/10/2006	30/12/2015	60,7
BCN_PALAU_REIAL	Barcelona	17/03/2011	30/12/2015	33,3
BCN_POBLENOU	Barcelona	02/03/2007	30/12/2015	43,9
BCN_SANTS	Barcelona	11/10/2006	30/12/2015	38,9
BCN_VALL_HEBRON	Barcelona	01/01/2008	30/12/2015	33,2
HOS_TORRENT_GOR	Hospitalet de Llobregat, l'	11/10/2006	30/12/2015	39,0
PR_JARDINS	Prat de Llobregat, el	01/12/2009	30/12/2015	36,9
SA_CANAL_OLIMPIC	Sant Adrià de Besòs	21/09/2005	30/12/2015	44,9
CO_ALLENDE	Cornellà	07/01/2005	29/05/2013	43,3

Font: Barcelona Regional

Taula 18: Dades utilitzades per al model de PM₁₀ i mitjana diària del total de dades.

Estació XVPCA	MUNICIPI	registre inicial utilitzat	registre final utilitzat	PM ₁₀
AMPOSTA	Amposta	19/05/2009	31/12/2015	20,8
BELLVER_CERDANYA	Bellver de Cerdanya	25/11/2010	31/12/2015	15,7
BERGA	Berga	27/02/2009	31/12/2015	17,3
MONTSENY_CASTANYA	Montseny	30/03/2010	05/04/2012	10,5
VILAFRANCA_PENEDES	Vilafranca del Penedès	24/02/2009	31/12/2015	21,3
MONTC_COMPANYS	Montcada i Reixac	05/01/2010	31/12/2015	34,0
MR_S_JOAN	Montcada i Reixac	01/02/2010	31/12/2015	25,5
SJD_CEIP_MONTSENY	Sant Just Desvern	01/01/2013	31/12/2015	27,5
SVH_RIBOT_S_MIQUEL	Sant Vicenç dels Horts	01/01/2010	31/12/2015	31,1
BCN_EIXAMPLE	Barcelona	13/12/2006	30/12/2015	31,4
BCN_GRACIA	Barcelona	11/10/2006	30/12/2015	35,7
BCN_PALAU_REIAL	Barcelona	17/12/2015	30/12/2015	32,0
BCN_POBLENOU	Barcelona	06/03/2007	30/12/2015	30,2
BCN_SANTS	Barcelona	11/10/2006	30/04/2009	51,6
BCN_VALL_HEBRON	Barcelona	02/10/2015	30/12/2015	30,4
HOS_TORRENT_GOR	Hospitalet de Llobregat, l'	12/11/2010	30/12/2015	25,5
SA_CANAL_OLIMPIC	Sant Adrià de Besòs	18/03/2008	30/12/2015	29,5

Font: Barcelona Regional

A continuació es mostra el tipus d'estació i les seves mitjanes totals de tot el període utilitzat:

Taula 19: Tipus d'estació de la XVPCA i mitjana diària del total de dades utilitzades.

Estació XVPCA	ALTITUD	TIPUS	AREA	O ₃	NO ₂	PM ₁₀
AMPOSTA	8	FONS	SUBURBANA	53,2	16	20,8
BCN_CIUTADELLA	7	FONS	URBANA	39,7	42,3	---
BCN_EIXAMPLE	26	TRÀNSIT	URBANA	31,9	60,7	31,4
BCN_GRACIA	57	TRÀNSIT	URBANA	36,8	60,7	35,7
BCN_PALAU_REIAL	81	FONS	URBANA	53,9	33,3	32
BCN_POBLENOU	3	FONS	URBANA	36,8	43,9	30,2
BCN_SANTS	35	FONS	URBANA	---	38,9	51,6
BCN_VALL_HEBRON	136	FONS	URBANA	52,8	33,2	30,4
BD_AUSIAS_MARC	7	FONS	URBANA	46,9	40,2	---
BEGUR	200	FONS	RURAL	79	---	---
BELLVER_CERDANYA	1060	FONS	RURAL	59,2	7,7	15,7
BERGA	661	FONS	SUBURBANA	60,4	18,7	17,3
BV_MORAGUES_MONTSERRAT	131	FONS	URBANA	---	41,3	---
CO_ALLENDE	39	FONS	URBANA	---	43,3	---
G_PARC_MILENI	25	FONS	SUBURBANA	56,1	15,1	---
GANDESA	368	FONS	RURAL	74,5	---	---
HOS_TORRENT_GOR	29	FONS	URBANA	41,5	39	25,5
LA_SENIA	428	FONS	RURAL	80,4	---	---
MANLLEU	460	FONS	SUBURBANA	41,2	23,1	---
MONTC_COMPANYS	34	TRÀNSIT	SUBURBANA	36,3	41,5	34
MONTSENY_CASTANYA	693	FONS	RURAL	75	3,6	10,5
MR_S_JOAN	29	INDUSTRIAL	SUBURBANA	---	---	25,5
P_ROCA_VILANA	82	INDUSTRIAL	SUBURBANA	---	20,8	---
PLL_CEM_SAGNIER	7	FONS	SUBURBANA	42,2	35,4	---
PONTS	370	FONS	RURAL	52,9	---	---
PR_JARDINS	5	FONS	SUBURBANA	47,2	36,9	---
SA_CANAL_OLIMPIC	7	INDUSTRIAL	URBANA	39	44,9	29,5
SAB_CEIP_JOSEP_PLA	40	TRÀNSIT	SUBURBANA	34,4	44	---
SANTA_MARIA_PALAUTORDERA	210	FONS	RURAL	48,8	---	---
SANTA_PAU	496	FONS	RURAL	55,9	---	---
SCG_BALLDOVINA	23	FONS	URBANA	39,1	39,6	---
SCV_PARC_S_FRANCESC	113	FONS	URBANA	40	30,2	---
SFLL_CEIP_MARTI_POL	81	INDUSTRIAL	SUBURBANA	---	21,8	---
SJD_CEIP_MONTSENY	85	INDUSTRIAL	SUBURBANA	---	---	27,5
SORT	692	FONS	RURAL	51,5	---	---
SVH_ALABA	65	INDUSTRIAL	SUBURBANA	---	24,7	---
SVH_RIBOT_S_MIQUEL	38	FONS	SUBURBANA	40,4	35,7	31,1
VILADECANS_ATRIUM	14	FONS	SUBURBANA	57,4	18,3	---
VILAFRANCA_PENEDES	192	FONS	SUBURBANA	52,4	20	21,3

Font: Barcelona Regional

6.4.2. METEOROLOGIA

S'han utilitzat les dades meteorològiques de 20 estacions de METEOCAT de tot Catalunya (3 estan a Barcelona). La selecció d'estacions s'ha fet segons proximitat amb les estacions de la XVPCA utilitzades.

Les dades meteorològiques utilitzades al model són:

- Temperatura [T]
- Humitat Relativa [HR]
- Pressió atmosfèrica [P]
- Radiació Solar [RS]
- Precipitació [PPT]

I les variables meteorològiques descartades en el model són:

- Velocitat [VVE] i direcció del vent [DVE] (s'ha descartat perquè és una variable molt local amb gran dependència de la orografia)

Les estacions meteorològiques considerades en l'estudi es mostren a continuació:

Taula 20: Rang de dades disponibles de les estacions meteorològiques

ESTACIO METEOROLÒGICA [CODI]	ALTITUD	MUNICIPI	registre inicial utilitzat	registre final utilitzat
Amposta [UU]	3	Amposta	25/02/1992	31/12/2015
Badalona - Museu [WU]	42	Badalona	21/09/2005	31/12/2015
Barcelona - el Raval [X4]	33	Barcelona	11/10/2006	30/12/2015
Barcelona - Observatori Fabra [D5]	411	Barcelona	01/01/2008	31/12/2015
Barcelona - Zoo [X2]	7	Barcelona	22/09/2006	30/12/2015
Castellbisbal [XC]	147	Castellbisbal	01/01/2010	31/12/2015
Das - Aeròdrom [DP]	1097	Das	22/05/2001	31/12/2015
Dosrius - PN Montnegre Corredor [UQ]	460	Dosrius	24/08/1996	31/12/2015
Gandesa [XP]	349	Gandesa	30/11/2011	31/12/2015
Gurb [V3]	509	Gurb	31/03/1999	31/12/2015
la Granada [W4]	240	La Granada	28/09/2005	31/12/2015
Oliola [WA]	443	Oliola	01/04/2001	31/12/2015
Olot - Pla de Baix [DC]	422	Olot	25/04/1998	31/12/2015
Parets del Vallès [XG]	123	Parets del Vallès	01/01/2010	31/12/2015
Roses [D4]	24	Roses	11/02/1996	31/12/2015
Santuari de Queralt [WM]	1167	Berga	01/05/2007	31/12/2015
Sort [XH]	679	Sort	31/07/2009	31/12/2015
Tagamanent - PN del Montseny [VX]	1030	Tagamanent	29/07/2008	31/12/2015
Ulldecona - els Valentins [UX]	210	Ulldecona	01/08/2004	31/12/2015
Viladecans [UG]	3	Viladecans	07/01/2005	31/12/2015

Font: Barcelona Regional

Taula 21: Variables meteorològiques disponibles

CODI ESTACIO METEO	T	HR	P	RS [Wh/m ² -dia]	PPT [XX/dia]	VVE	DVE
D4	16,6	64,8	1014,0	3827	1,41	3,07	152
D5	14,9	65,4	968,3	4182	1,48	4,11	199
DC	13,7	74,6	967,4	3740	2,20	1,40	167
DP	8,9	69,0	892,6	4553	1,46	2,71	149
UG	16,4	72,6	---	4385	1,48	---	---
UQ	13,7	75,3	---	4115	1,83	---	---
UU	16,5	77,1	1016,0	4366	1,16	3,59	219
UX	15,7	68,3	---	4449	1,43	---	---
V3	12,6	75,1	---	4212	1,76	---	---
VX	11,4	69,5	---	2786	2,02	---	---
W4	14,9	70,7	---	4403	1,34	---	---
WA	12,8	72,3	---	4458	1,18	---	---
WM	11,6	62,9	---	4081	2,31	2,26	192
WU	16,6	67,9	1011,2	5577	1,83	---	---
X2	17,1	68,5	---	---	---	---	---
X4	17,8	62,7	1012,2	4263	1,52	2,02	185
XC	15,9	69,8	999,4	4458	1,35	2,34	240
XG	15,8	65,0	1002,3	5895	1,87	1,77	152
XH	10,8	69,5	938,9	0	1,85	---	---
XP	14,8	66,4	---	4591	1,30	---	---

Font: Barcelona Regional

Com a fet particular, la pressió no es mesura a totes les estacions meteorològiques, com és una variable amb poca variació territorial per alçades similars, a les estacions meteorològiques que no mesuren pressió atmosfèrica, se'ls hi ha assignat la pressió d'una altra estació amb similar alçada i que sí disposés de baròmetre.

A la taula següent es mostra l'assignació feta on "P" és la pressió real mesurada per els baròmetres existents i "P2" és la variable introduïda al model GAM amb la pressió:

Taula 22: Assignació de la pressió atmosfèrica en estacions que no disposen de baròmetre

CODI	ALÇADA	P	P2
D4	24	1014	1014
D5	411	968	968
DC	421	967	967
DP	1097	893	893
UG	3	----	1016 (de UU)
UM	505	----	967 (de DC)
UQ	460	----	967 (de DC)
UU	3	1016	1016
UX	210	----	999 (de XC)
V3	509	----	967 (de DC)
VT	84	----	1011 (de WU)
VX	1030	----	893 (de DP)
W2	7	----	1016 (de UU)
W4	240	----	999 (de XC)
WA	443	----	967 (de DC)
WE	126	----	1002 (de XG)
WM	1167	----	893 (de DP)
WU	42	1011	1011
X2	7	----	1016 (de UU)
X4	33	1012	1012
XC	147	999	999
XG	123	1002	1002
XH	679	939	939
XP	349	----	968 (de D5)
XV	158	----	1000 (de XC)
XZ	6	----	1017 (de UU)

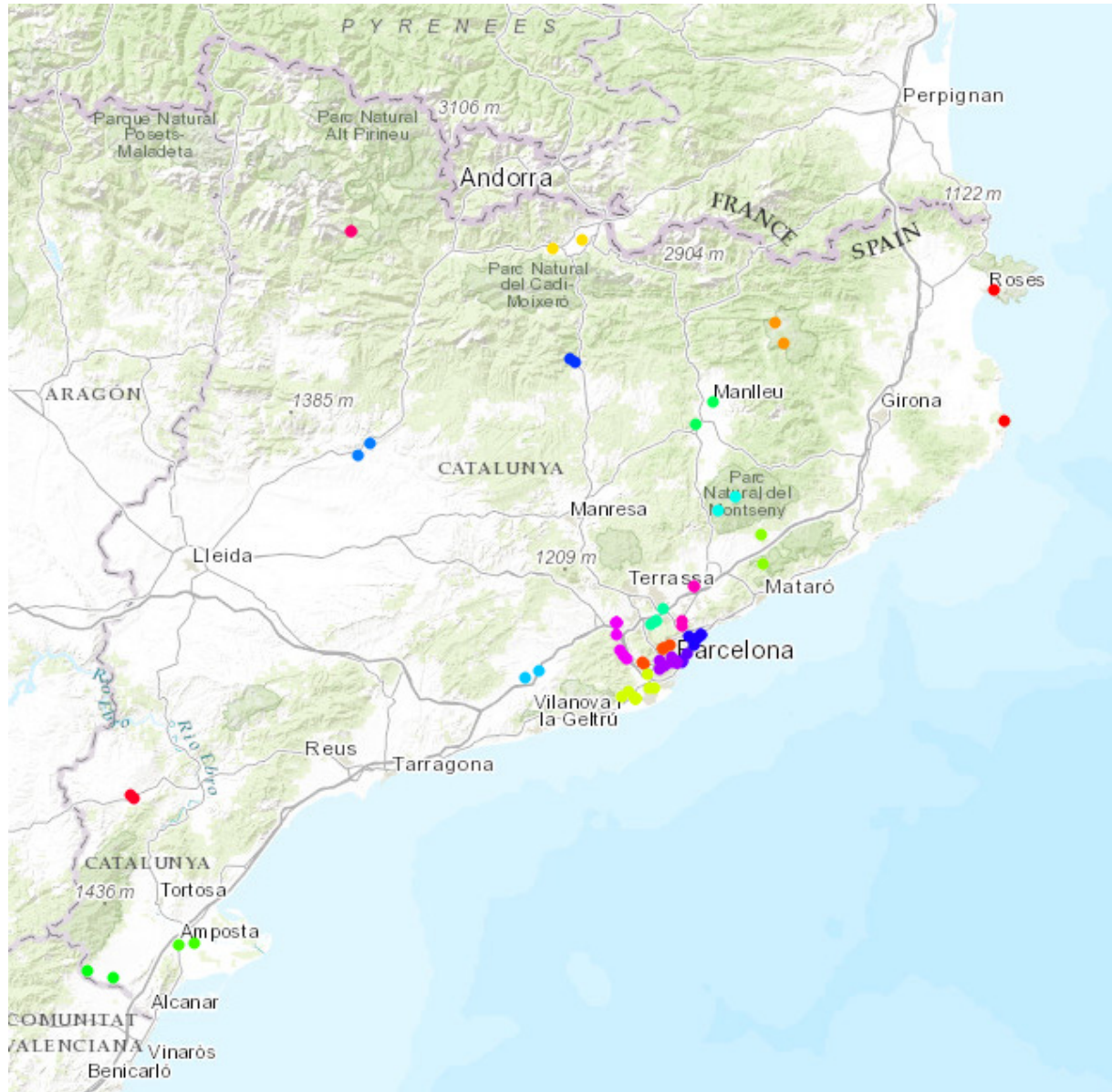
Font: Barcelona Regional

Assignació de dades meteorològiques a ubicacions de la XVPCA

Perquè el model GAM pugui trobar associacions entre la variació de la meteorologia i variació de la qualitat de l'aire per cada estació de la XVPCA, cal associar a cada estació de mesura de la qualitat de l'aire les dades d'una estació meteorològica.

La selecció de les estacions de la XVPCA fora de l'AMB que han estat utilitzades en el treball s'ha fet amb aquesta intenció, ja que s'han escollit aquelles estacions de fons properes a estacions meteorològiques.

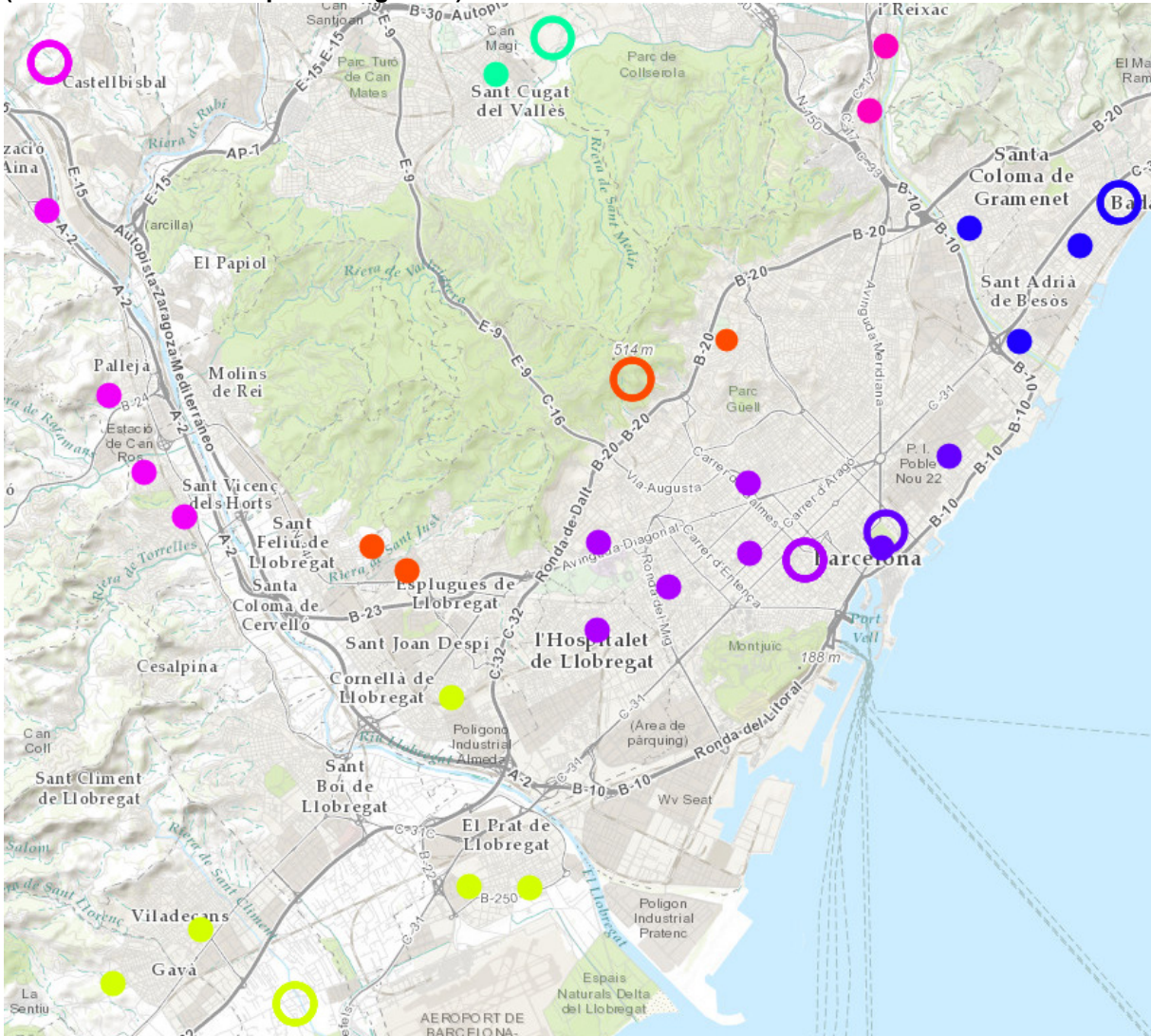
Imatge 68: Assignació d'estacions meteorològiques amb ubicacions d'estacions de la XVPCA (mateixos colors indiquen assignació)



Font: Barcelona Regional.

En canvi la assignació de les estacions meteorològiques en estacions de la XVPCA de l'AMB ha estat més complexa. Amb ajuda dels tècnics del Servei Meteorològic de Catalunya s'ha pogut determinar la representativitat de les dades meteorològiques de les estacions de METEOCAT en les ubicacions de les estacions de la XVPCA de l'AMB. Finalment l'assignació de dades meteorològiques amb estacions de la XVPCA queda de la següent manera (el mateix color indica assignació meteo-XVPCA):

Imatge 69: Assignació d'estacions meteorològiques amb ubicacions d'estacions de la XVPCA (mateixos colors indiquen assignació)



Font: Barcelona Regional (○ = estacions meteo, ● = estacions de la XVPCA)

Taula 23: Assignació de la pressió atmosfèrica en estacions que no disposen de baròmetre

METEO CODI	METEO NOM	XVPCA NOM	XVPCA AREA	XVPCA TIPUS
UU	Amposta	AMPOSTA	SUBURBANA	FONS
D4	Roses	BEGUR	RURAL	FONS
DP	Das - Aeròdrom	BELLVER_CERDANYA	RURAL	FONS
WM	Santuari de Queralt	BERGA	SUBURBANA	FONS
XP	Gandesa	GANDESA	RURAL	FONS
UX	Ulldecona - els Valentins	LA_SENIA	RURAL	FONS
V3	Gurb	MANLLEU	SUBURBANA	FONS
VX	Tagamanent - PN del Montseny	MONTSENY_CASTANYA	RURAL	FONS
WA	Oliola	PONTS	RURAL	FONS
UQ	Dosrius - PN Montnegre Corredor	SANTA_MARIA_PALAUTORDERA	RURAL	FONS
DC	Olot	SANTA_PAU	RURAL	FONS
XH	Sort	SORT	RURAL	FONS
UG	Viladecans	VILADECANS_ATRIUM	SUBURBANA	FONS
W4	la Granada	VILAFRANCA_PENEDES	SUBURBANA	FONS
WU	Badalona - Museu	BD_AUSIAS_MARC	URBANA	FONS
UG	Viladecans	G_PARC_MILENI	SUBURBANA	FONS
XG	Parets del Vallès	MONTC_COMPANYS	SUBURBANA	TRÀNSIT
UG	Viladecans	PLL_CEM_SAGNIER	SUBURBANA	FONS
XC	Castellbisbal	SAB_CEIP_JOSEP_PLA	SUBURBANA	TRÀNSIT
WU	Badalona - Museu	SCG_BALLDOVINA	URBANA	FONS
VT	Cerdanyola	SCV_PARC_S_FRANCESC(*)	URBANA	FONS
XV	Sant Cugat	SCV_PARC_S_FRANCESC(*)	URBANA	FONS
XC	Castellbisbal	SVH_RIBOT_S_MIQUEL	SUBURBANA	FONS
X2	Barcelona - Zoo	BCN_CIUTADELLA	URBANA	FONS
X4	Barcelona - el Raval	BCN_EIXAMPLE	URBANA	TRÀNSIT
X4	Barcelona - el Raval	BCN_GRACIA	URBANA	TRÀNSIT
X4	Barcelona - el Raval	BCN_PALAU_REIAL	URBANA	FONS
X2	Barcelona - Zoo	BCN_POBLENOU	URBANA	FONS
D5	Barcelona - Observatori Fabra	BCN_VALL_HEBRON	URBANA	FONS
X4	Barcelona - el Raval	HOS_TORRENT_GOR	URBANA	FONS
UG	Viladecans	PR_JARDINS	SUBURBANA	FONS
WU	Badalona - Museu	SA_CANAL_OLIMPIC	URBANA	INDUSTRIAL

Font: Barcelona Regional. (fins el 2013 se li assigna VT, a partir de 2014 se li assigna XV)

6.4.3. ALTRES VARIABLES UTILITZADES AL MODEL

A més de les variables meteorològiques i de qualitat de l'aire, s'han introduït al model les següents variables geoespacionals i temporals:

- Latitud
- Longitud
- Alçada
- Any
- Mes
- Dia de la setmana
- Concentració del contaminant analitzat (NO₂, PM₁₀ o O₃) del dia anterior

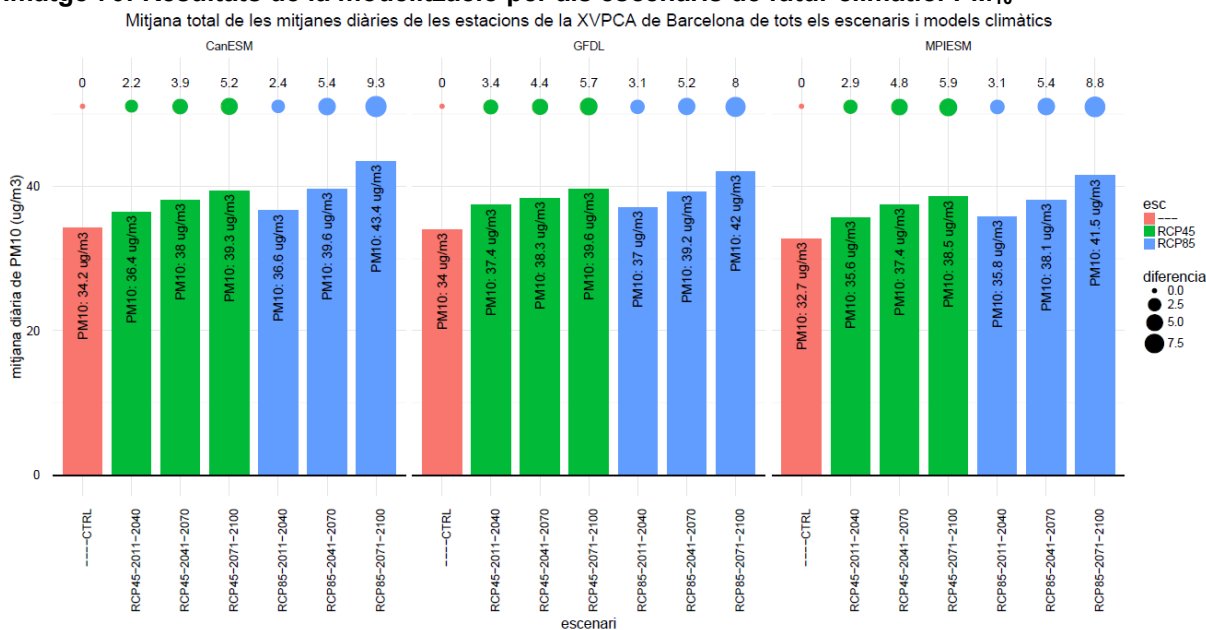
Les tres primeres (latitud, longitud i alçada) permetran al model diferenciar les particularitats espacionals de les diferents ubicacions de les estacions de la XVPCA. Mentre que les variables de calendari (any, mes i dia de la setmana) permetran tenir en compte les tendències que puguin haver amb anys històrics i la variabilitat estacional i setmanal.

Finalment la concentració del contaminant del dia anterior s'introdueix al model ja que té gran influència el que hi ha acumulat a l'ambient el dia anterior amb relació a la concentració de cada dia analitzat.

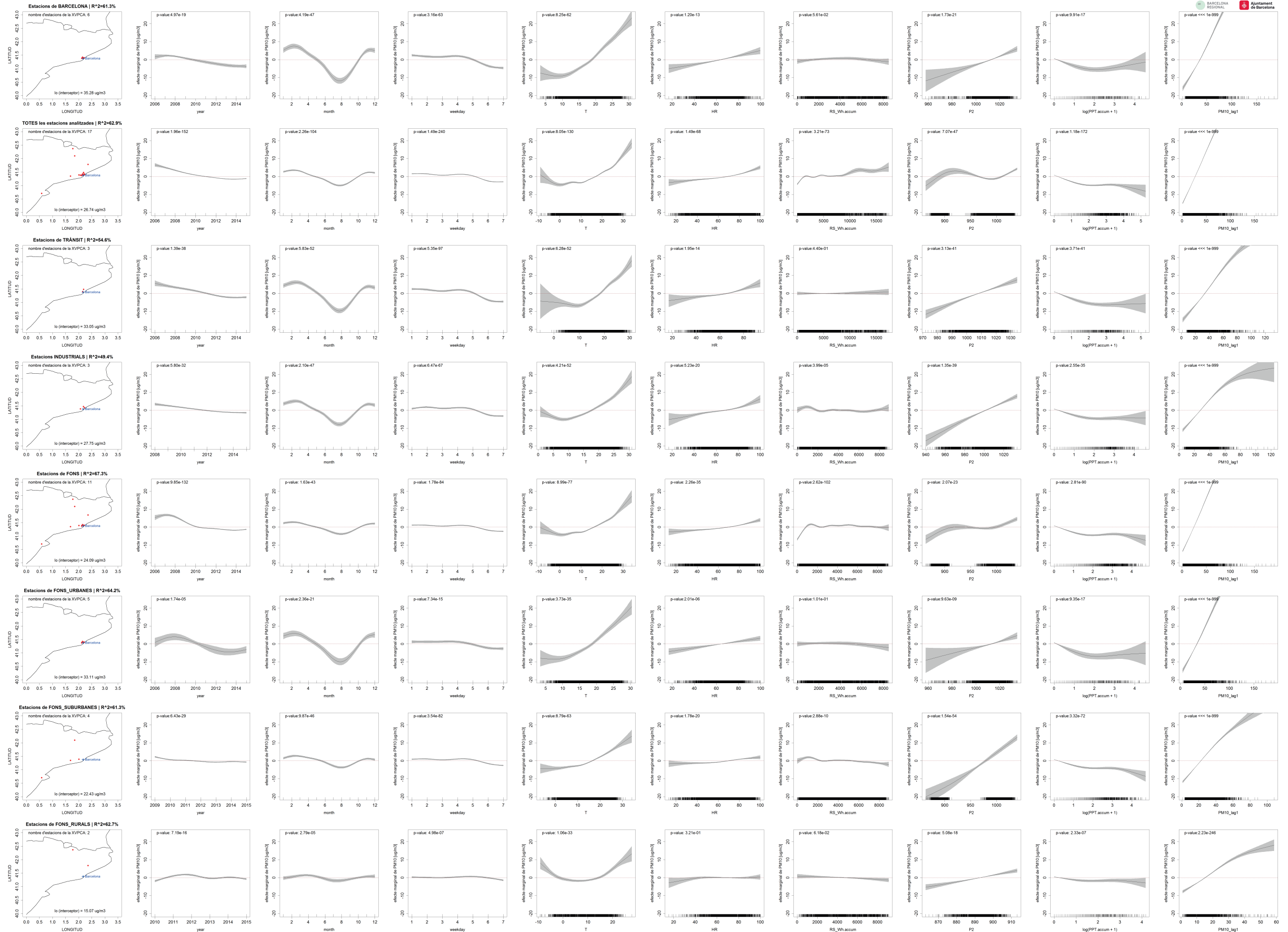
6.5. DETALL DE LES MODELIZACIONS PER PM₁₀

A continuació es mostren els diferents efectes sobre cadascun dels escenaris climàtics analitzats.

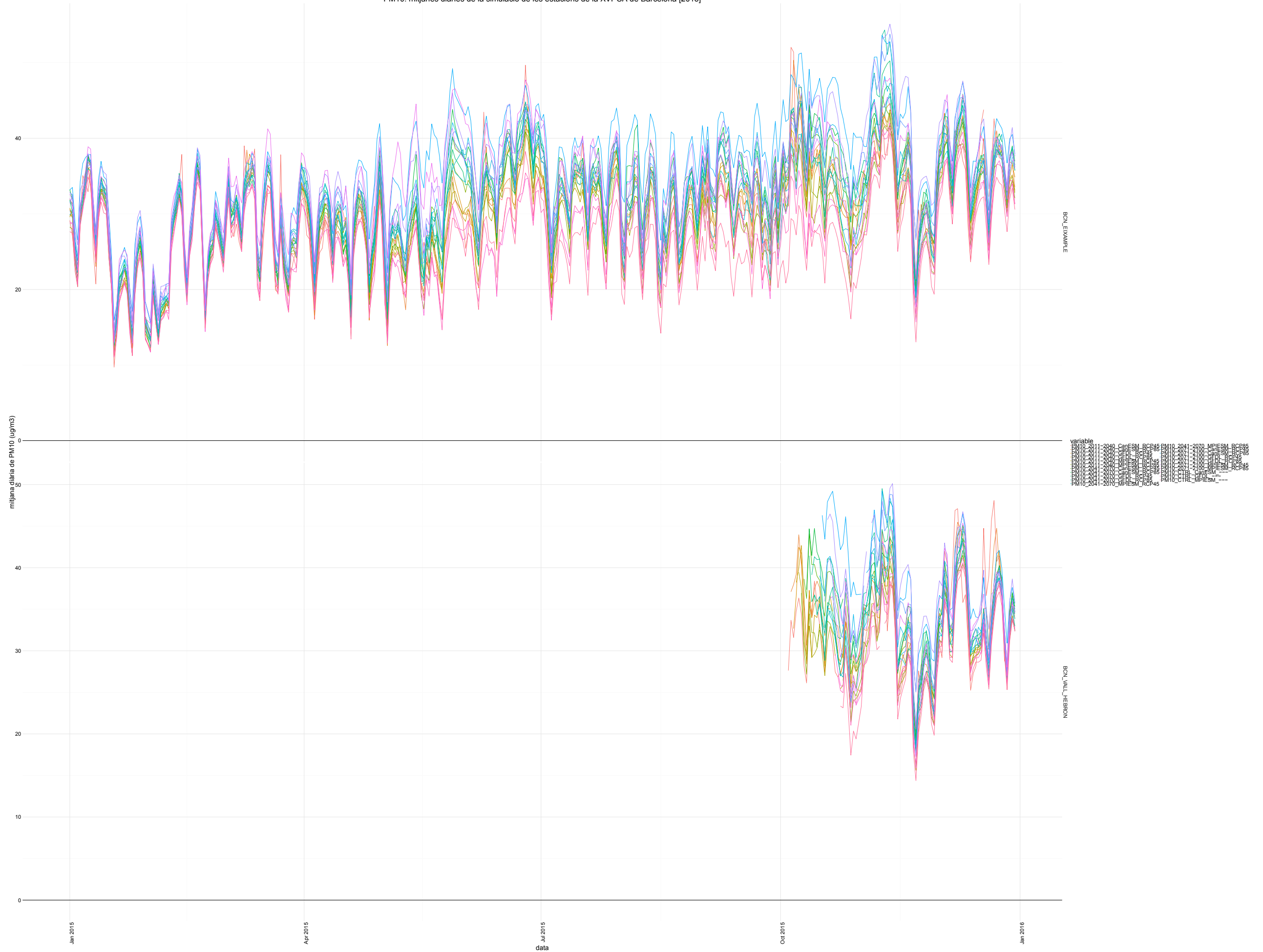
Imatge 70: Resultats de la modelització per als escenaris de futur climàtic: PM₁₀



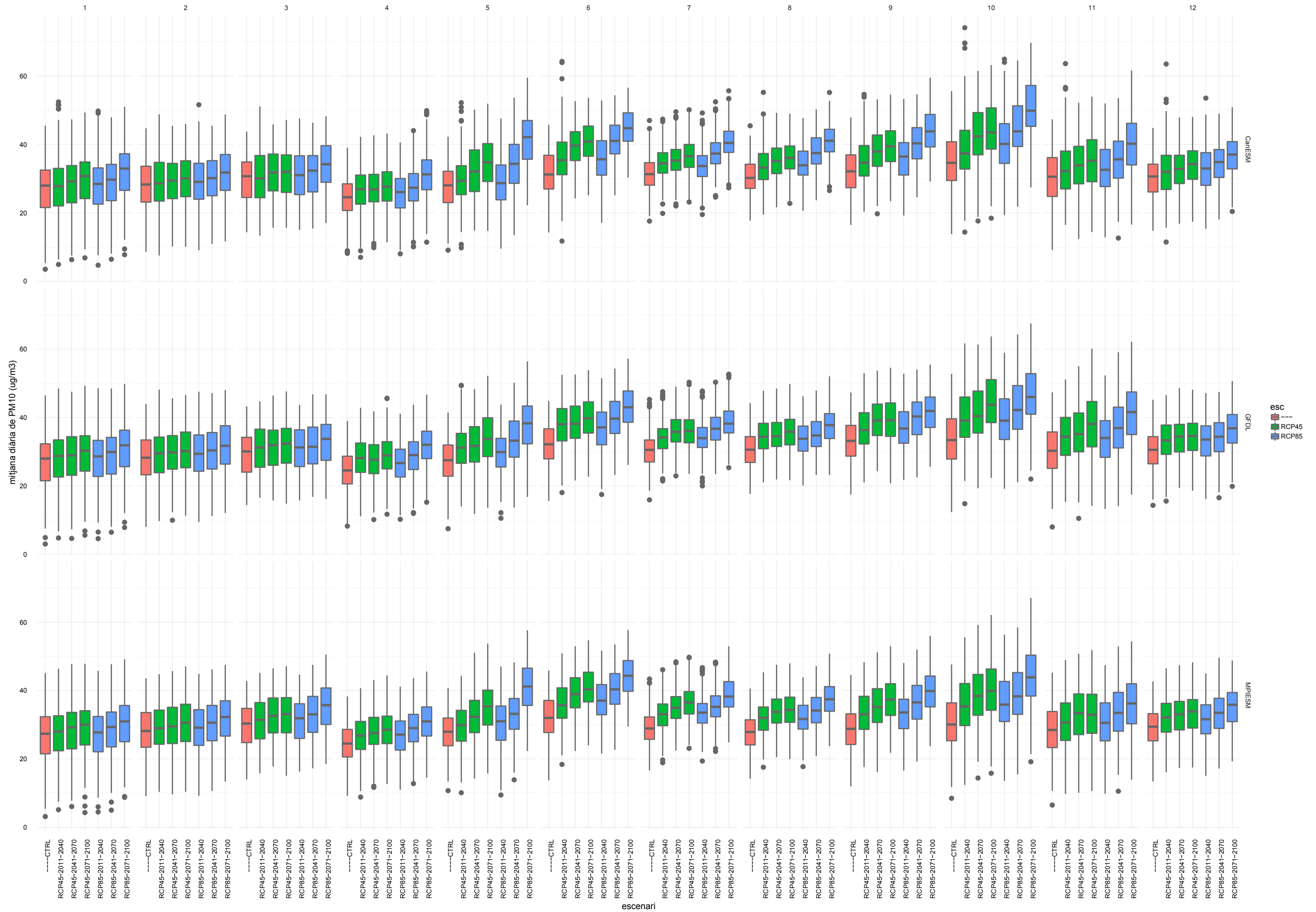
Font: Barcelona Regional



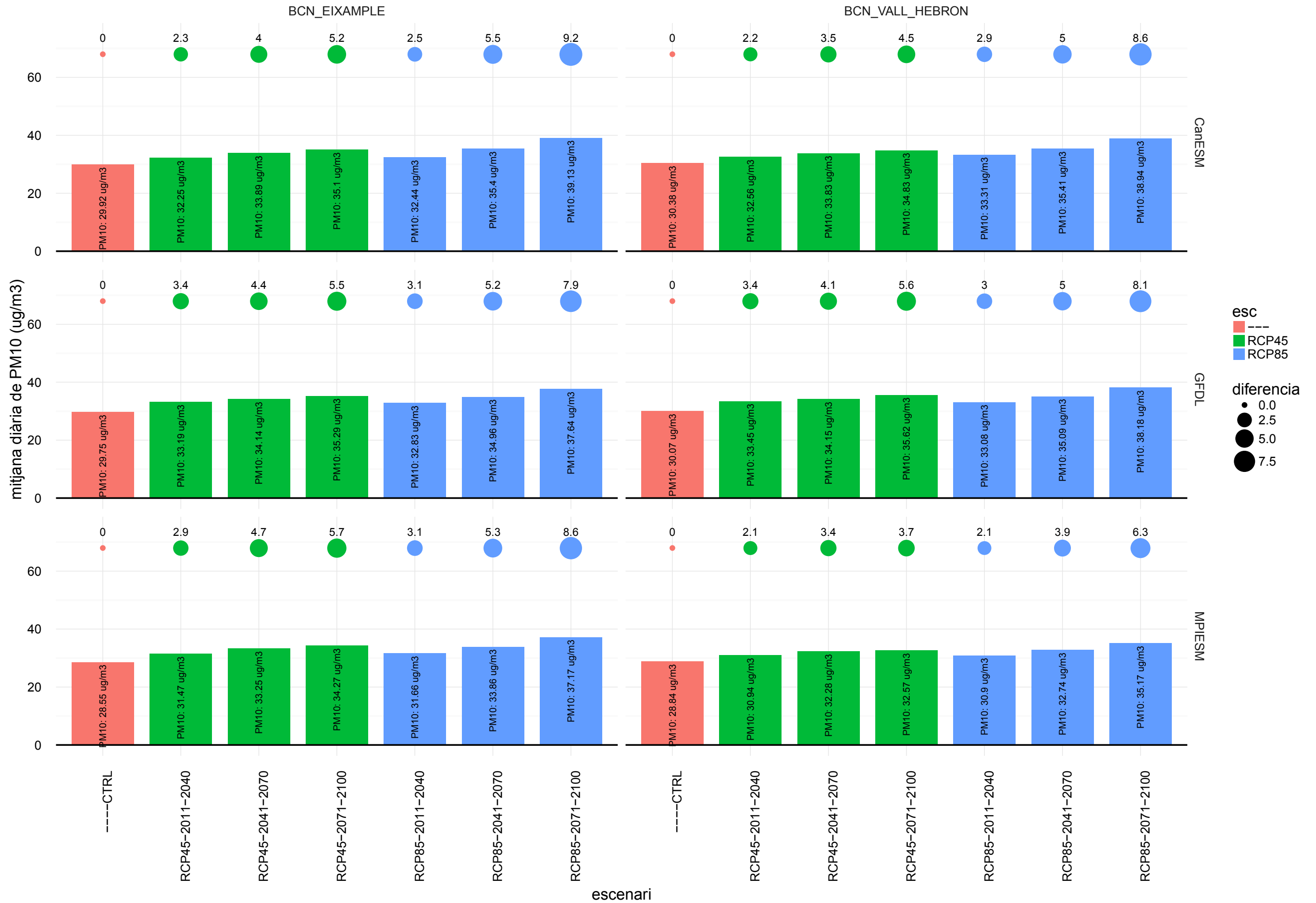
PM10: mitjanes diàries de la simulació de les estacions de la XVPCA de Barcelona [2015]



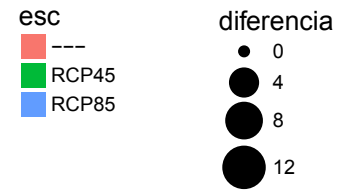
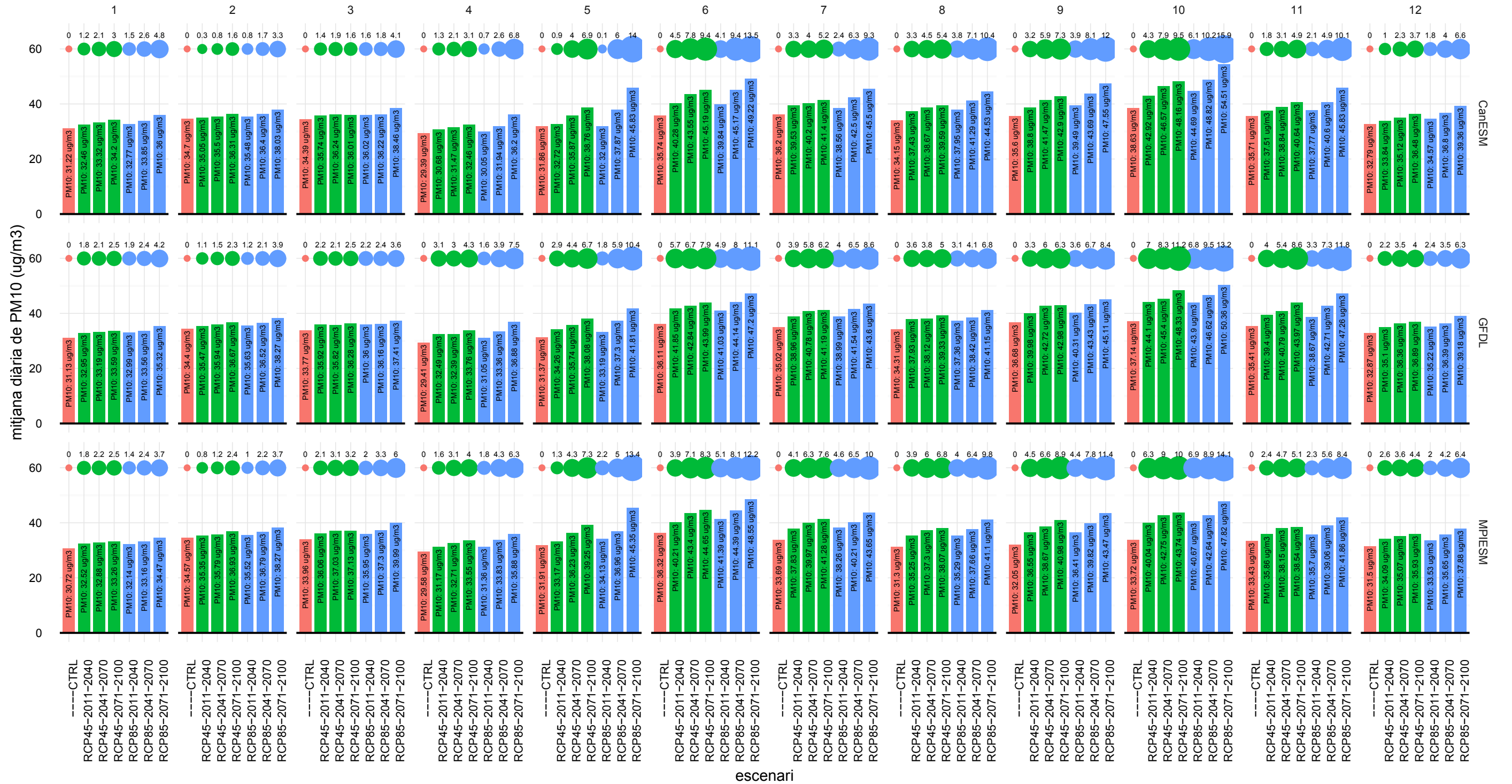
Boxplot de les mitjanes diàries per mes de l'any de totes les estacions de la XVPCA de Barcelona de tots els escenaris i models climàtics



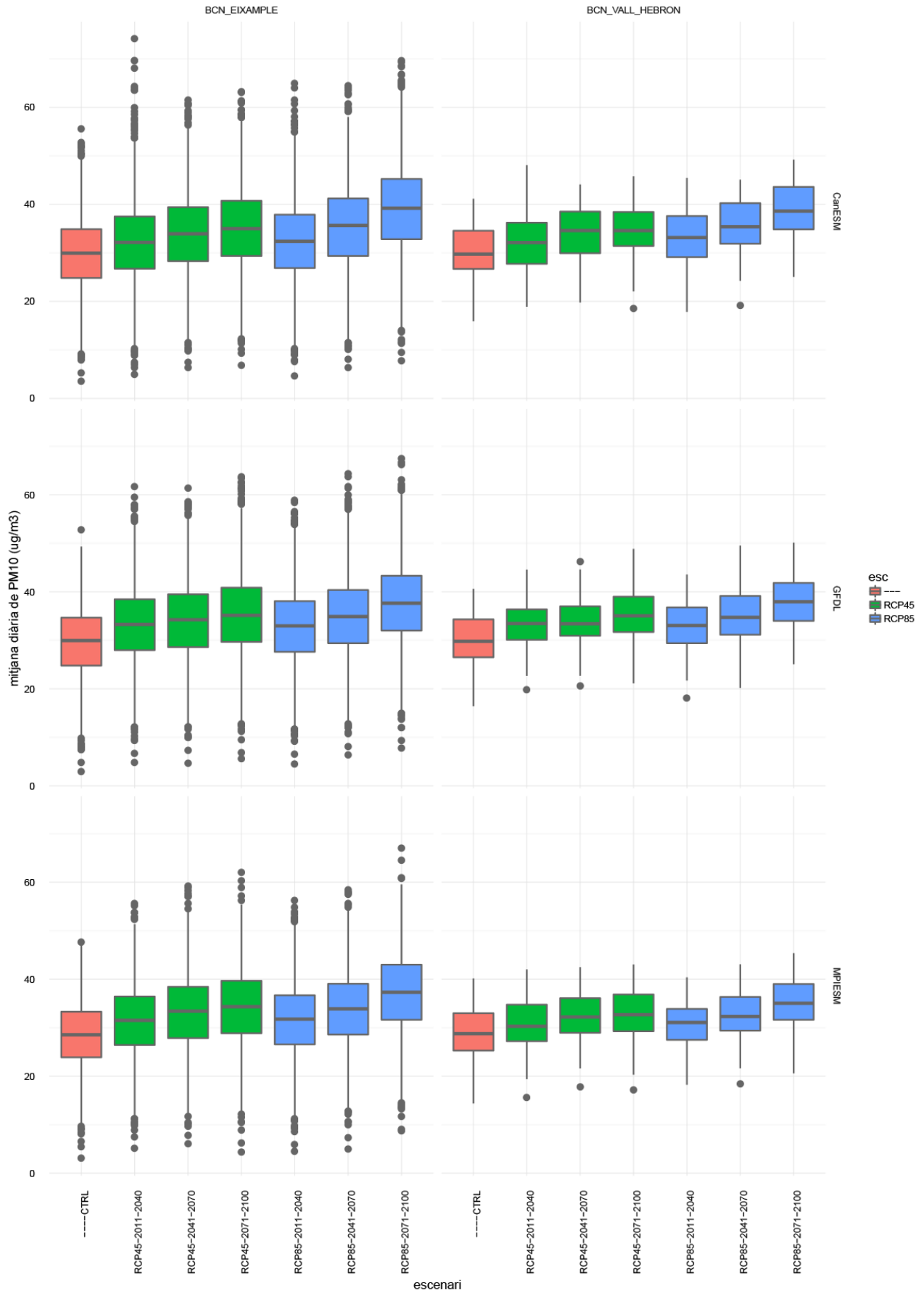
Mitjana total de les mitjanes diàries de les estacions de la XVPCA de Barcelona de tots els escenaris i models climàtics



Mitjana total de les mitjanes diàries de les estacions de la XVPCA de Barcelona per mes de l'any de tots els escenaris i models climàtics



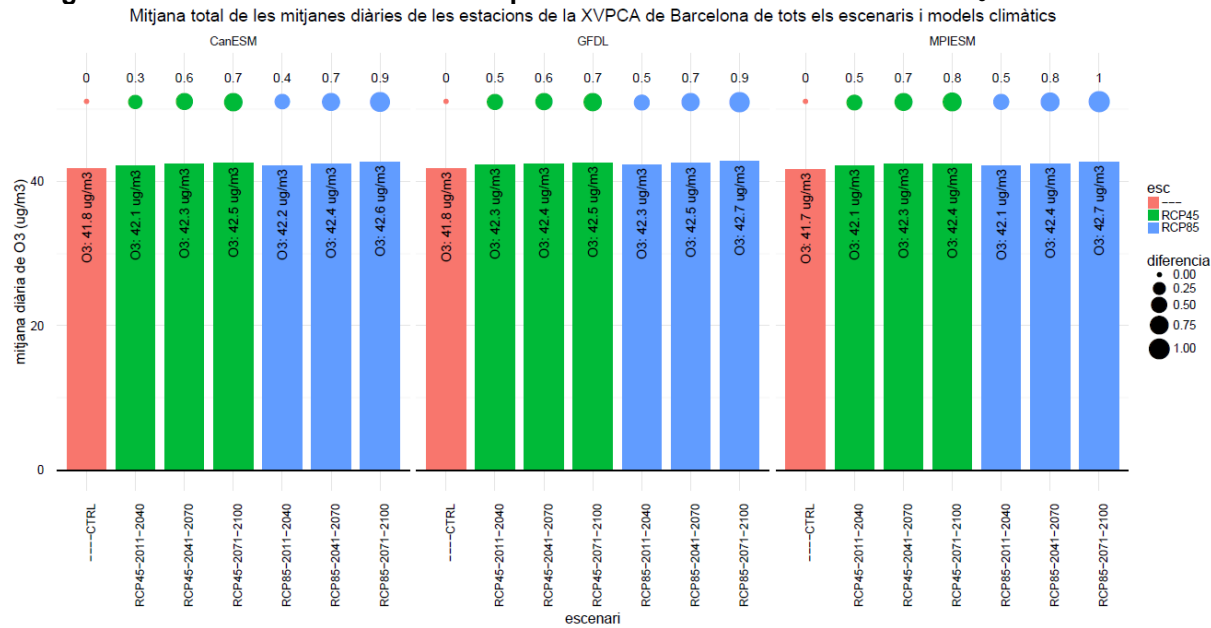
Boxplot de les mitjanes diàries de les estacions de la XVPCA de Barcelona de tots els escenaris i models climàtics



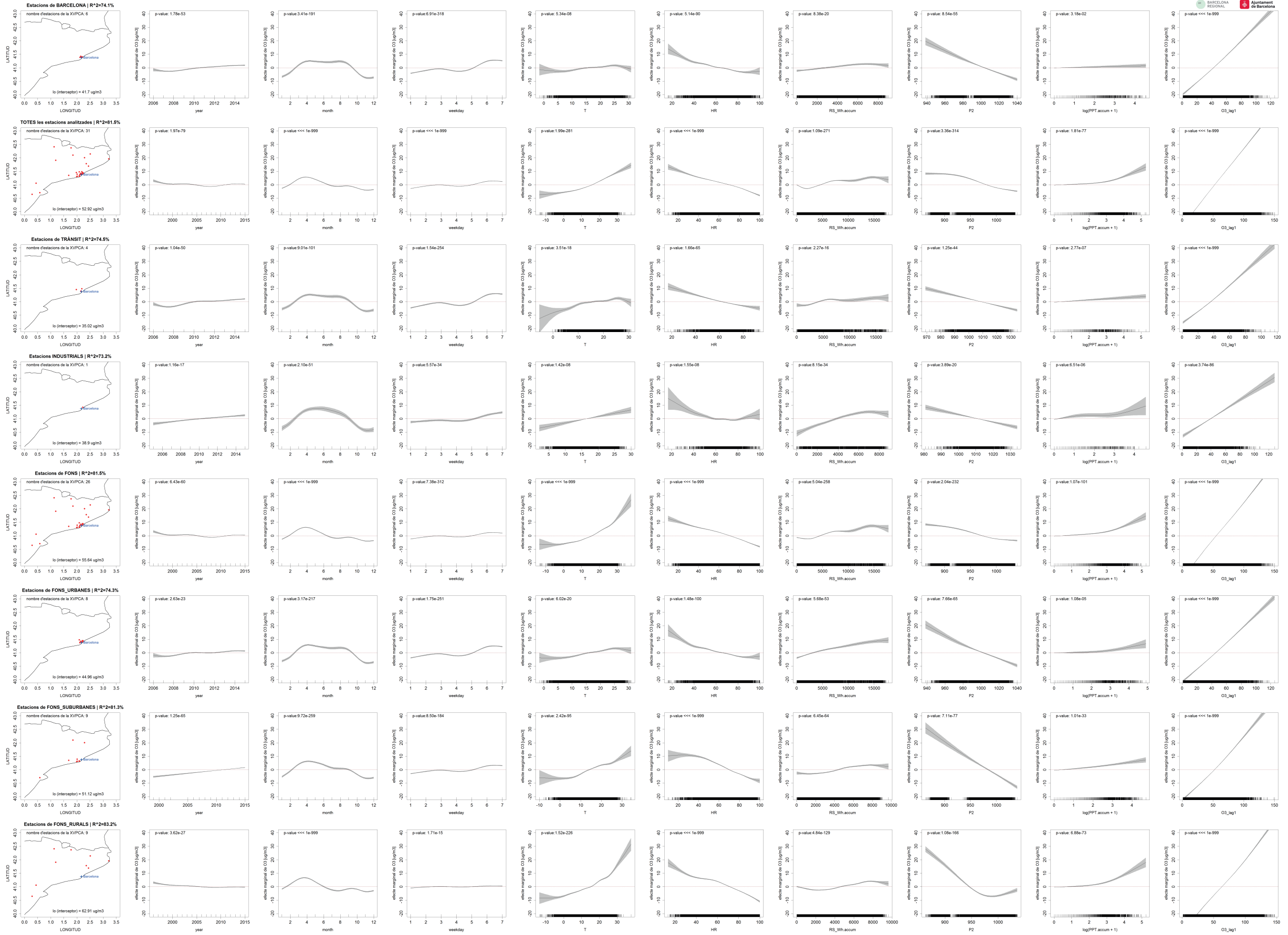
6.6. DETALL DE LES MODELIZACIONS PER O₃

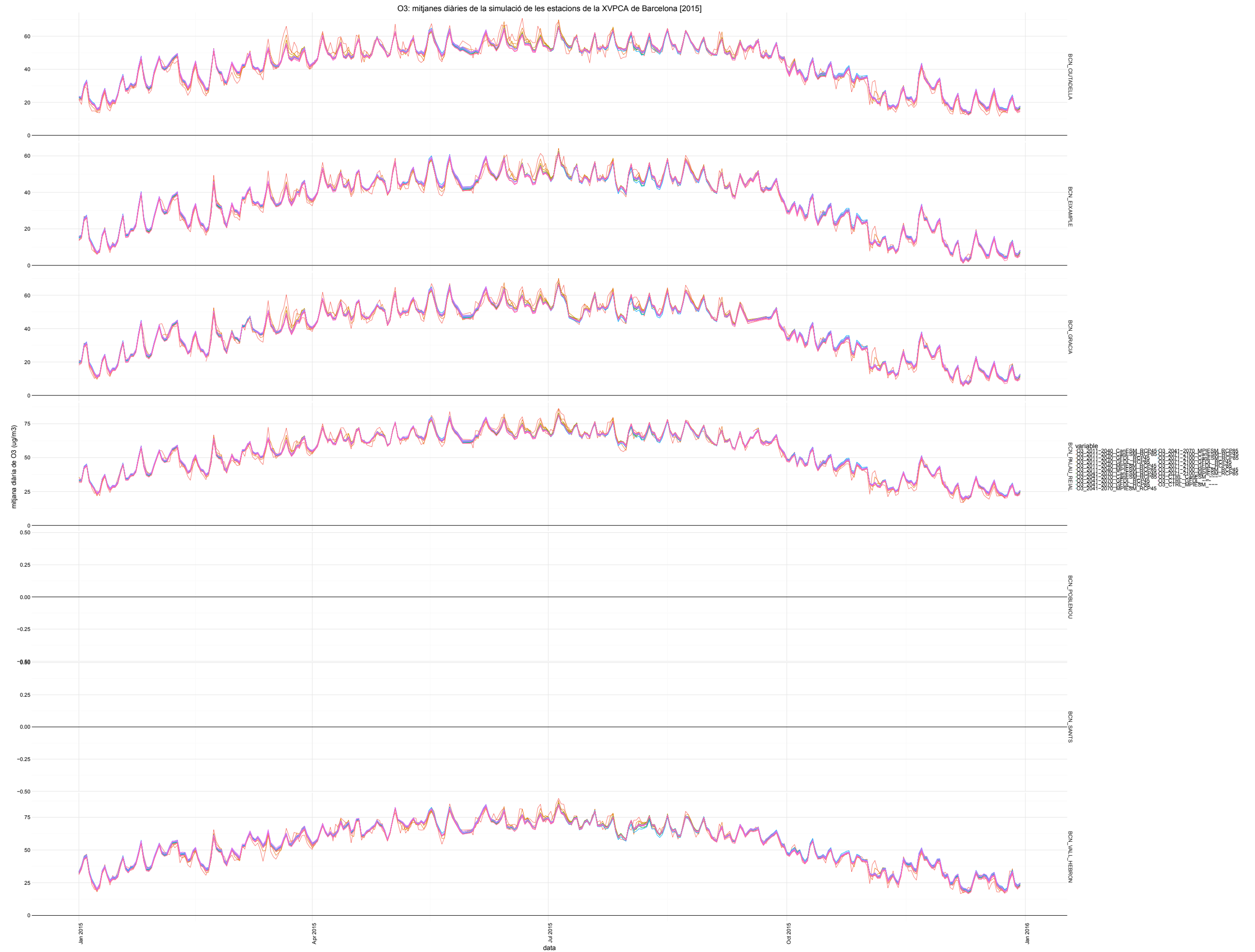
A continuació es mostren els diferents efectes sobre cadascun dels escenaris climàtics analitzats.

Imatge 71: Resultats de la modelització per als escenaris de futur climàtic: O₃

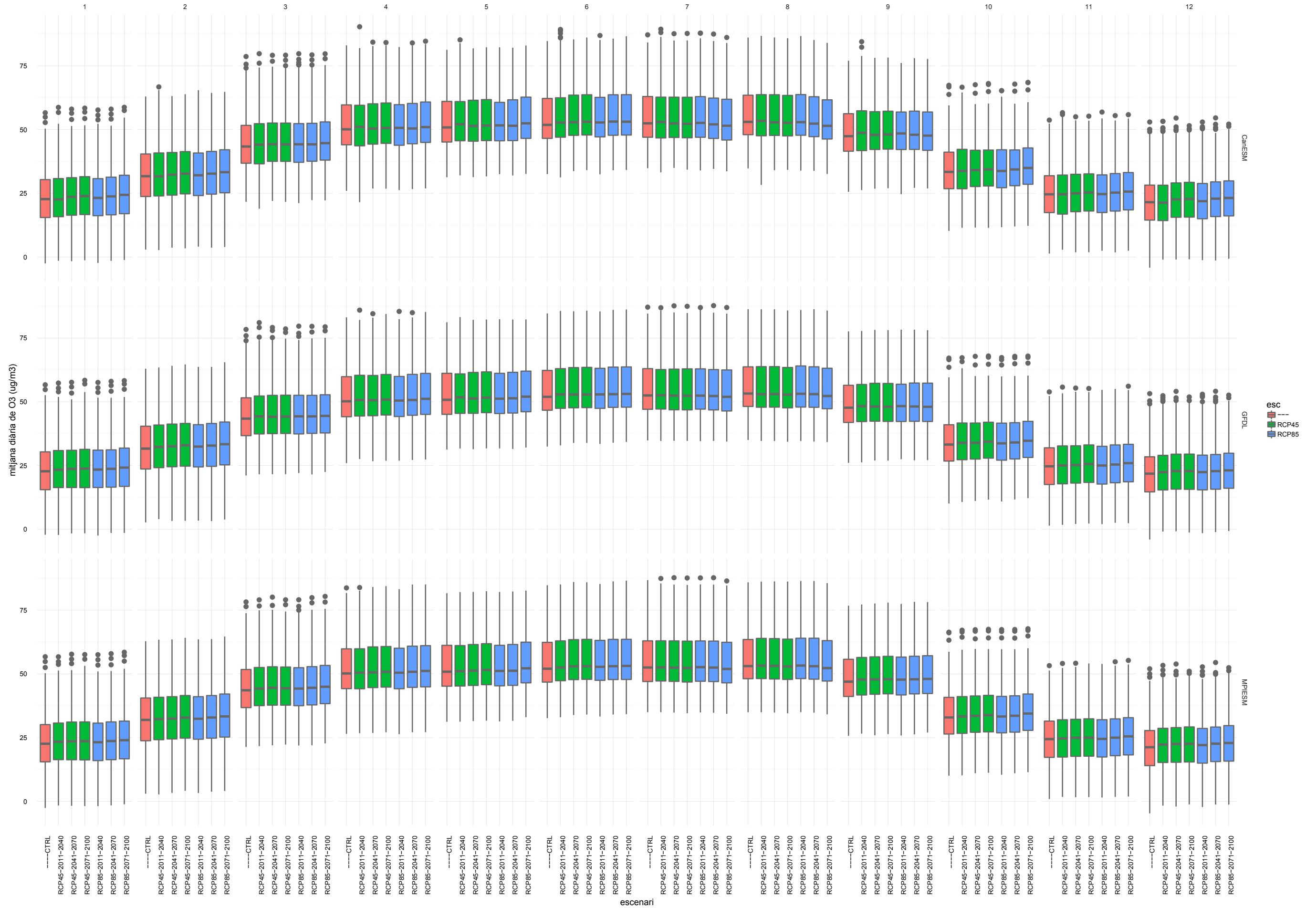


Font: Barcelona Regional

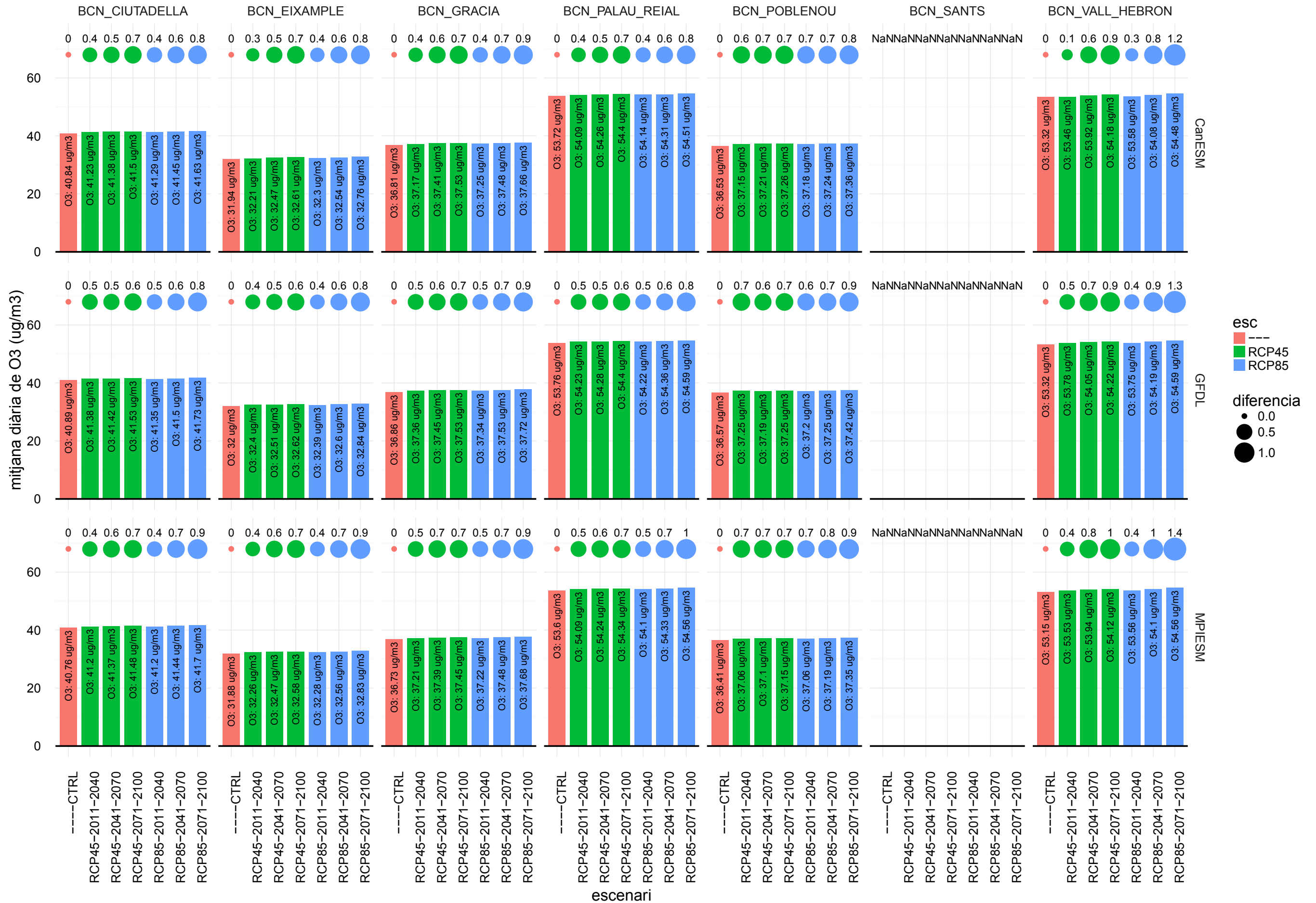




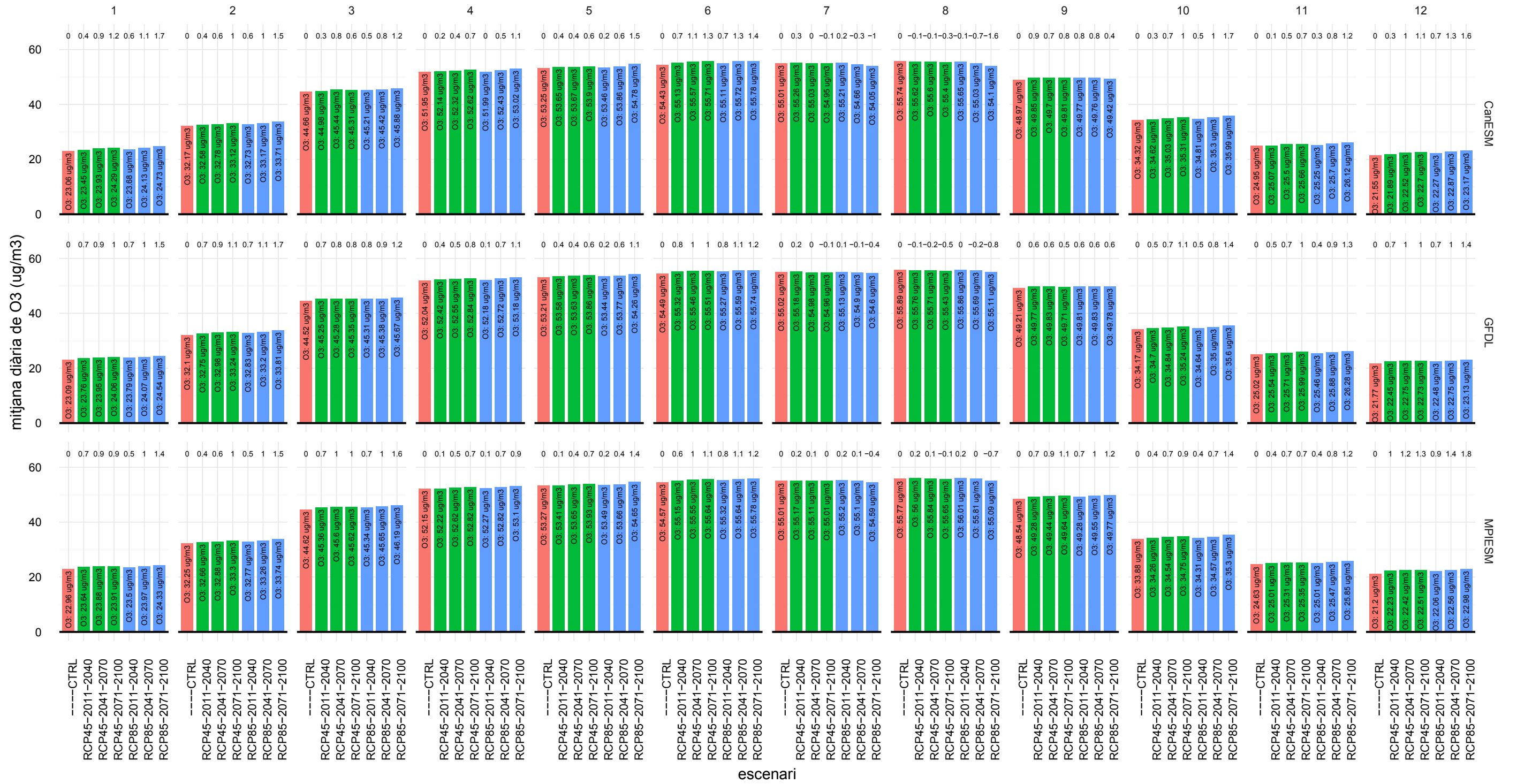
Boxplot de les mitjanes diàries per mes de l'any de totes les estacions de la XVPCA de Barcelona de tots els escenaris i models climàtics



Mitjana total de les mitjanes diàries de les estacions de la XVPCA de Barcelona de tots els escenaris i models climàtics

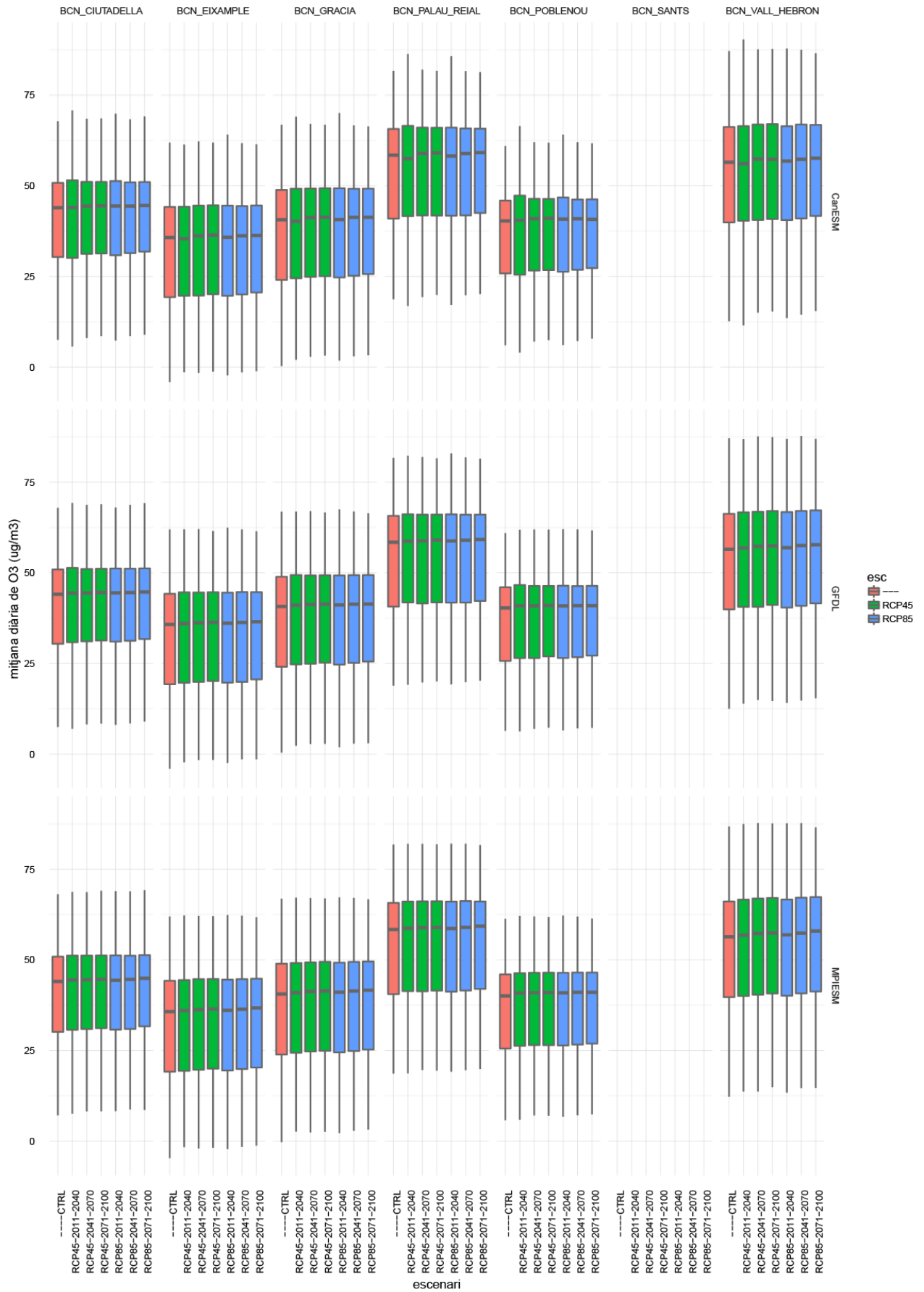


Mitjana total de les mitjanes diàries de les estacions de la XVPCA de Barcelona per mes de l'any de tots els escenaris i models climàtics



esc
█ CTRL
█ RCP45
█ RCP85

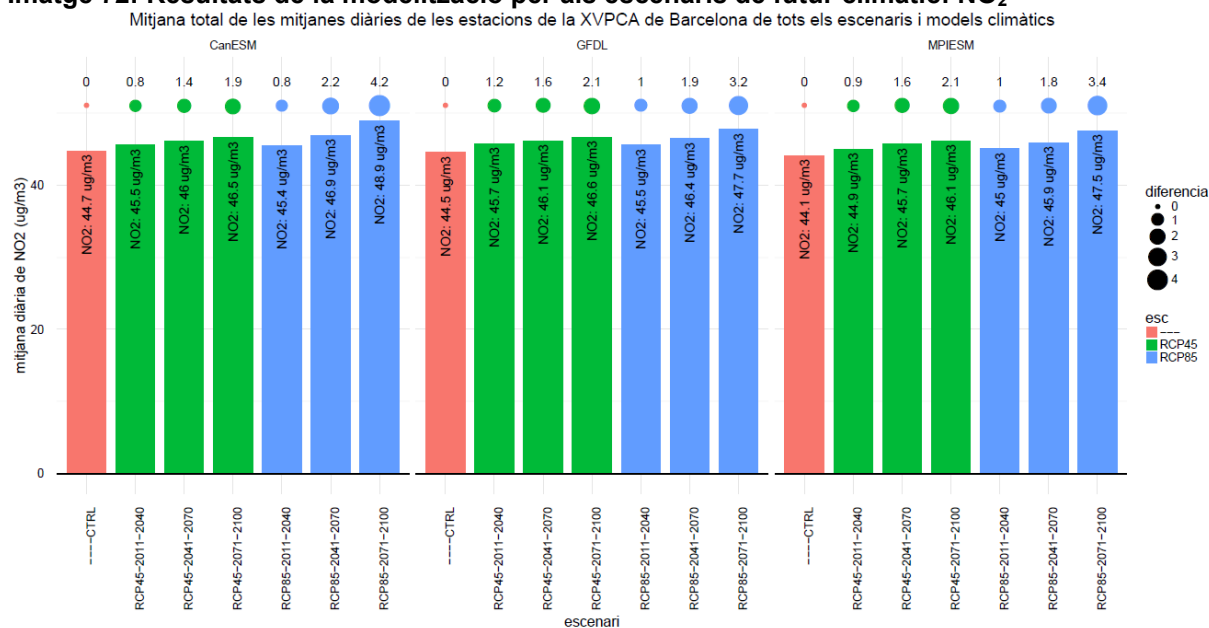
Boxplot de les mitjanes diàries de les estacions de la XVPCA de Barcelona de tots els escenaris i models climàtics



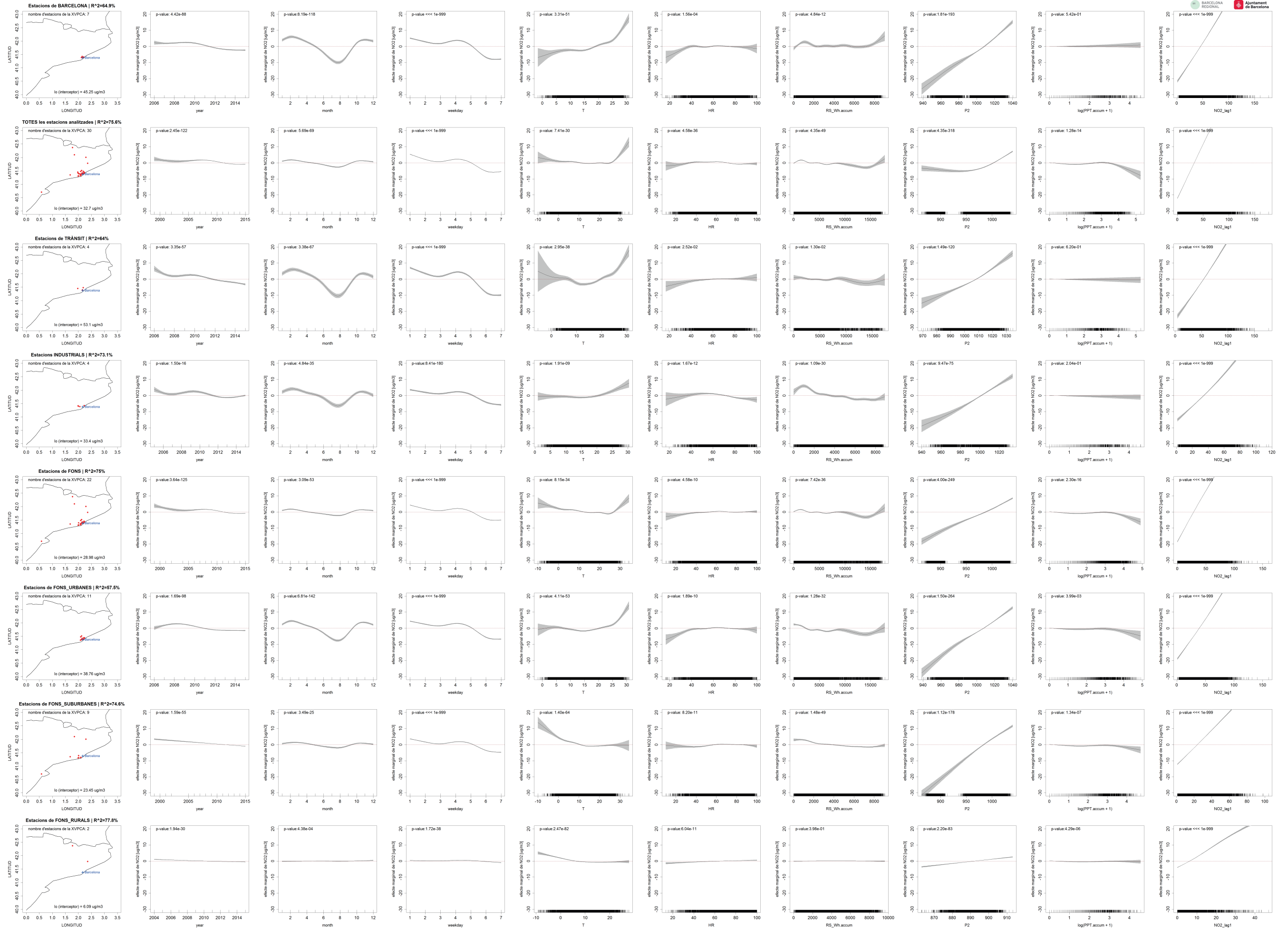
6.7. DETALL DE LES MODELITZACIONS PER NO₂

A continuació es mostren els diferents efectes sobre cadascun dels escenaris climàtics analitzats.

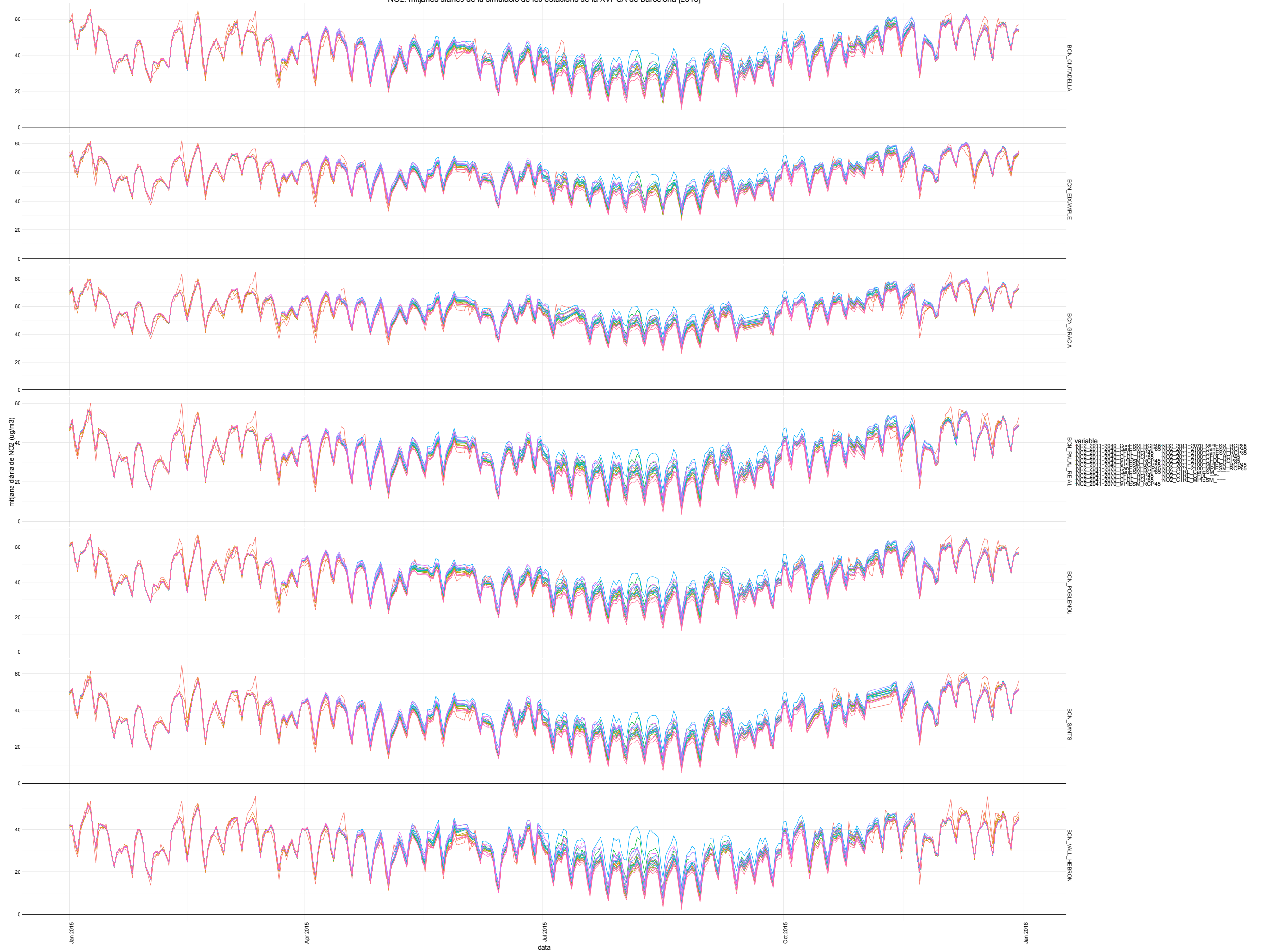
Imatge 72: Resultats de la modelització per als escenaris de futur climàtic: NO₂



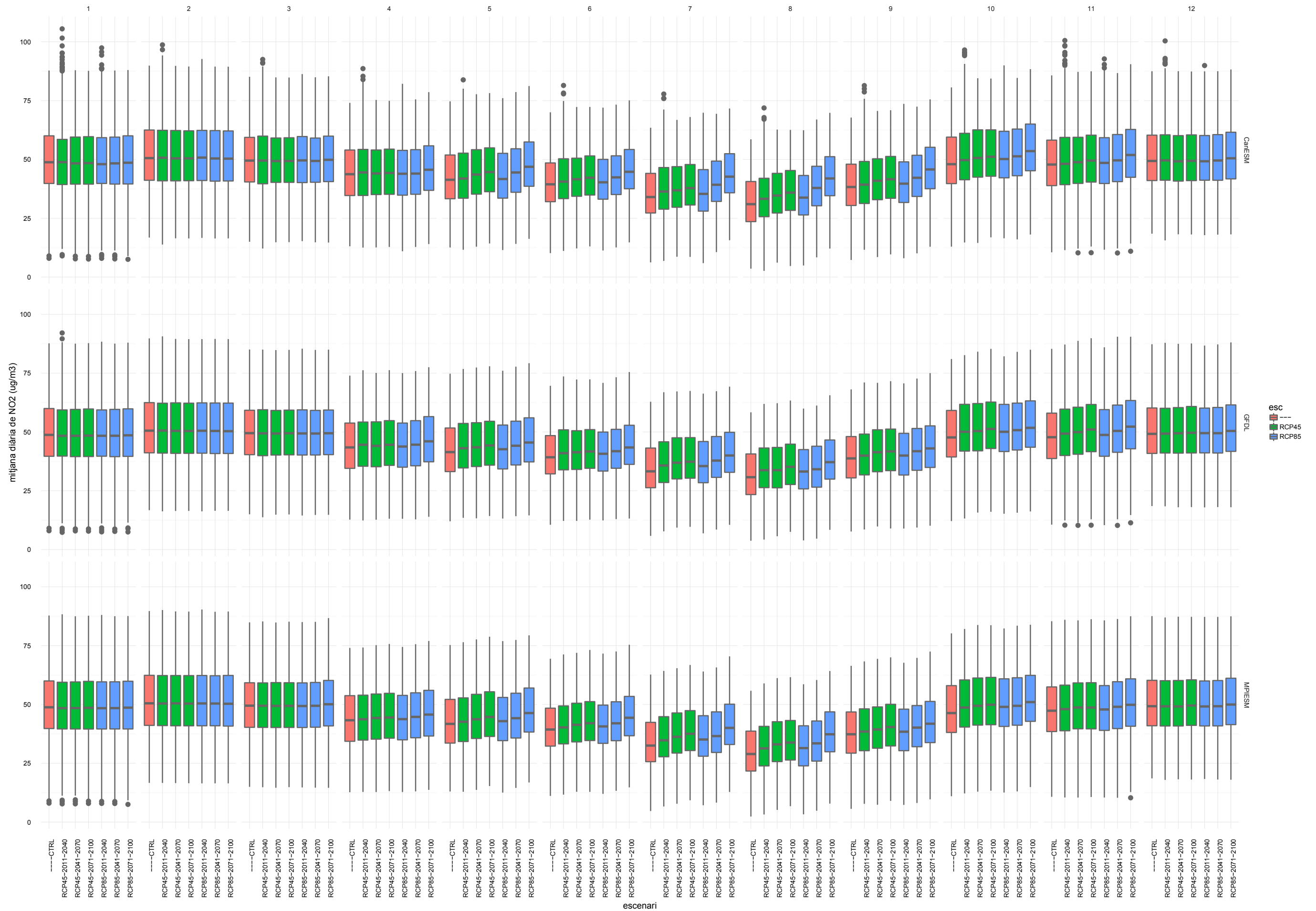
Font: Barcelona Regional



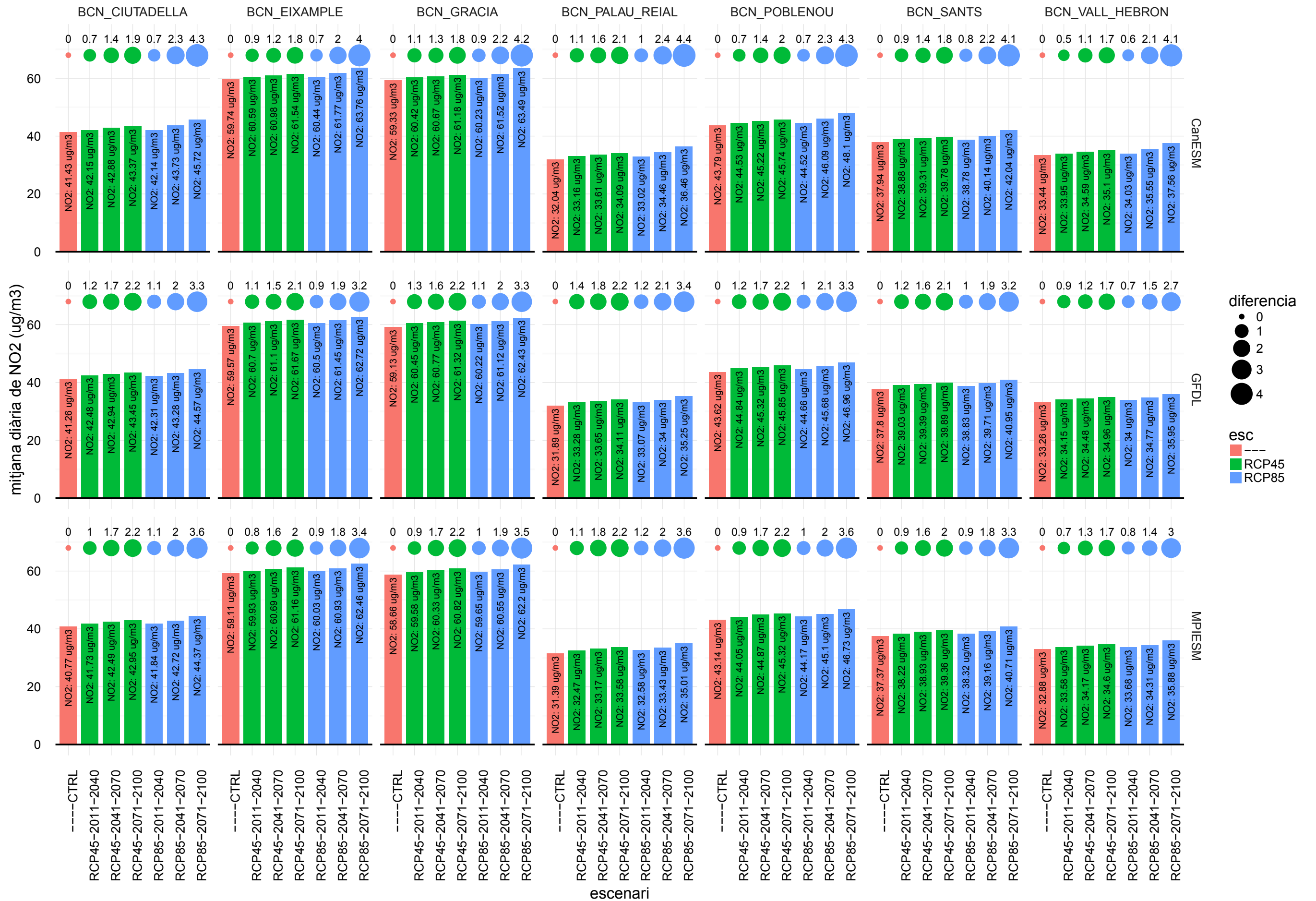
NO2: mitjanes diàries de la simulació de les estacions de la XVPCA de Barcelona [2015]



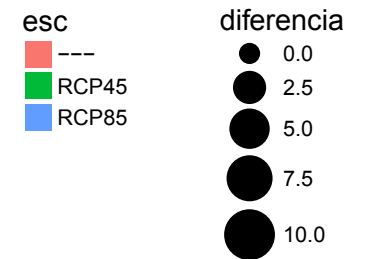
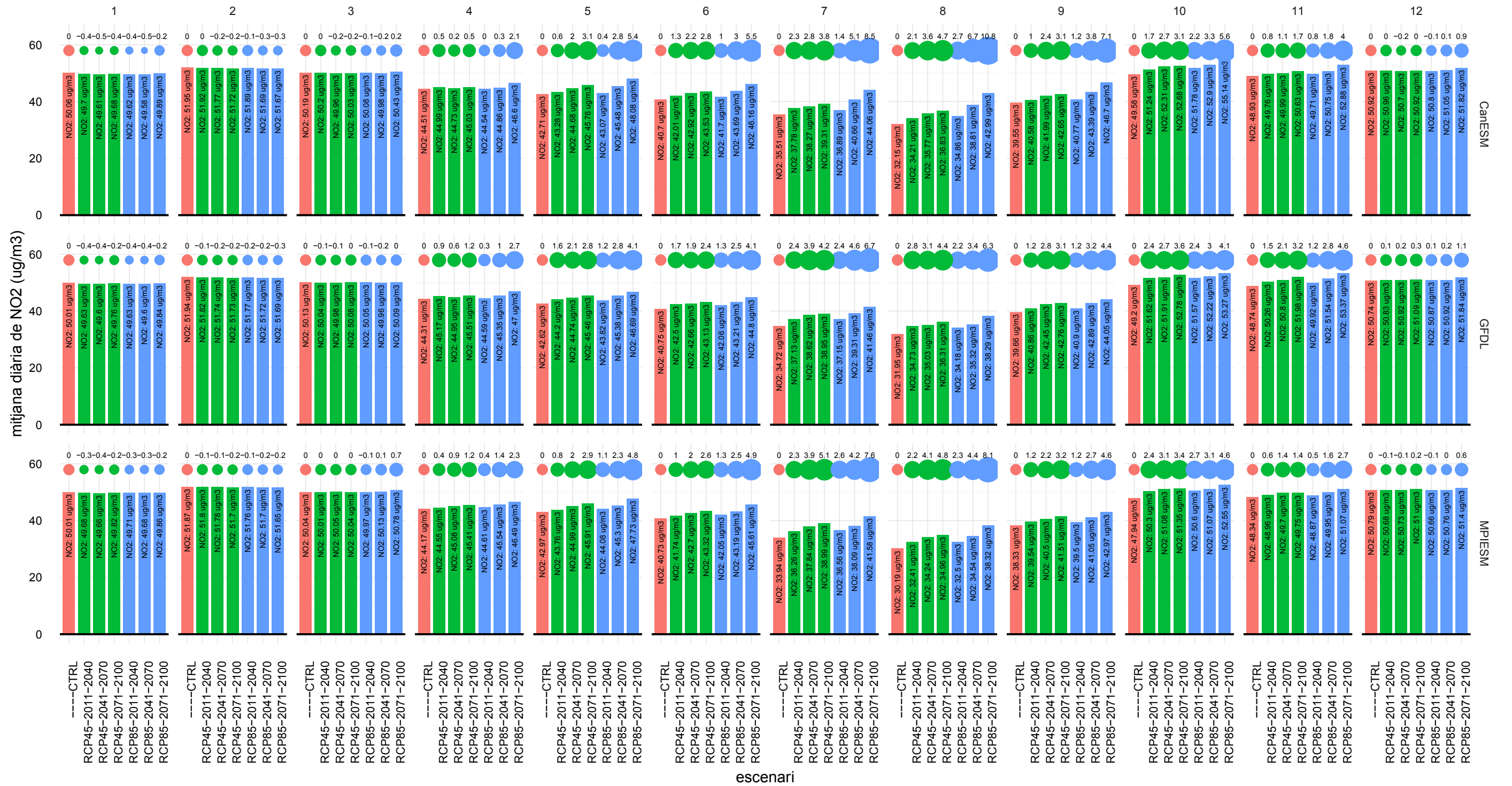
Boxplot de les mitjanes diàries per mes de l'any de totes les estacions de la XVPCA de Barcelona de tots els escenaris i models climàtics



Mitjana total de les mitjanes diàries de les estacions de la XVPCA de Barcelona de tots els escenaris i models climàtics



Mitjana total de les mitjanes diàries de les estacions de la XVPCA de Barcelona per mes de l'any de tots els escenaris i models climàtics



Boxplot de les mitjanes diàries de les estacions de la XVPCA de Barcelona de tots els escenaris i models climàtics

