



FACULTAT  
**D'EMPRESA I COMUNICACIÓ**  
UVIC | UVIC-UCC

**Treball de Fi de Grau**

***L'AIRE QUE RESPIREM***  
**Evolució i causes de la contaminació  
atmosfèrica a Catalunya**

Sergi Barnera Dordal

Modalitat: *Acadèmic*

**Grau en Administració i Direcció d'Empreses**

Tutor: Ramon Oller Piqué

Vic, juny de 2021

## AGRAÏMENTS

Vull transmetre el més sincer agraïment a les persones que m'han ajudat a elaborar aquest treball de final de grau.

En primer lloc, al meu tutor, en Ramon Oller, per guiar-me al llarg de tot el treball i resoldre tots els dubtes que m'han anat sorgint.

En segon lloc, a la meva família, qui m'ha donat l'empenta necessària per abordar aquest treball de final de grau.

## RESUM

La contaminació atmosfèrica és el resultat de l'acció humana sobre el planeta Terra. L'aire que respirem està contaminat, i s'ha de conèixer el quant i el perquè per poder-hi fer front. En aquest treball s'estudia l'evolució de la contaminació atmosfèrica a Catalunya des de l'any 2010 fins l'any 2019, així com les causes socioeconòmiques i climàtiques que l'originen. Partint de diferents punts de mesurament de qualitat de l'aire distribuïts per les grans ciutats de Catalunya, s'ha observat una disminució generalitzada del nivell de contaminació. A més, s'ha pogut comprovar que els diferents contaminants atmosfèrics presenten patrons espacials arreu del territori. El desenvolupament d'una anàlisi clúster ha permès obtenir evidències sobre com les variables densitat de població, la mida de la població, el nivell de renda familiar disponible o bé el parc de vehicles d'una zona influeixen en el nivell de contaminació atmosfèrica de contaminants com NO<sub>2</sub>, NO i NO<sub>x</sub>; mentre que un augment de la presència del sector de serveis fa reduir-ne les concentracions.

## ABSTRACT

Atmospheric pollution is the result of human action on planet Earth. The air we breathe is polluted, and we need to know how and why in order to tackle it. This work studies the evolution of air pollution in Catalonia from 2010 to 2019, as well as the socio-economic and climatic causes that give rise to it. Based on different air quality measurement points distributed throughout the large cities of Catalonia, a generalised decrease in the level of pollution has been observed. Furthermore, it has been possible to verify that the different atmospheric pollutants present spatial patterns throughout the territory. The development of a cluster analysis has allowed evidence to be obtained on how the variables population density, population size, the level of disposable family income or the number of vehicles in an area influence the level of atmospheric pollution of pollutants such as NO<sub>2</sub>, NO and NO<sub>x</sub>; while an increase in the presence of the service sector reduces concentrations.

## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1 Literatura prèvia</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2 Objectius</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3 Presentació de les bases de dades</b> .....	<b>6</b>
Àmbit de l'estudi .....	6
Base de dades 1: Mesurament de la qualitat de l'aire .....	8
Base de dades 2: Variables Socioeconòmiques .....	10
Base de dades 3: Variables Climàtiques .....	11
Inconvenients de les bases de dades del treball .....	12
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Preparació i elaboració de les bases de dades 2 i 3</b> .....	<b>13</b>
Base de dades 2: Variables Socioeconòmiques .....	13
Base de dades 3: Variables Climàtiques .....	14
<b>2.2 OBJECTIU 1: Estudiar l'evolució de la qualitat de l'aire de Catalunya</b> .....	<b>15</b>
Anàlisi numèric de l'evolució de la qualitat de l'aire .....	15
Anàlisi espacial de l'evolució de la contaminació a Catalunya: Mètode Kriging .....	16
<b>2.3 OBJECTIU 2: Analitzar quines variables tenen influència en la contaminació atmosfèrica de Catalunya</b> .....	<b>18</b>
Anàlisi Clúster .....	18
Relació dels nivells de contaminació amb les variables socioeconòmiques i climàtiques .....	21
<b>3. RESULTATS</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 OBJECTIU 1: Estudiar l'evolució de la qualitat de l'aire de Catalunya</b> .....	<b>22</b>
Anàlisi numèric de l'evolució de la qualitat de l'aire .....	22
Anàlisi espacial de l'evolució de la contaminació a Catalunya: Mètode Kriging .....	24
<b>3.2 OBJECTIU 2: Analitzar quines variables tenen influència real en la contaminació atmosfèrica de Catalunya</b> .....	<b>30</b>
Anàlisi Clúster .....	30
Relació dels nivells de contaminació amb les variables socioeconòmiques i climàtiques .....	35
<b>4. CONCLUSIONS</b> .....	<b>43</b>
<b>5. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>44</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

### 1.1 Literatura prèvia

L'*Homo Sapiens* ha deixat petjada al planeta Terra. Si bé la seva interacció amb la natura i la manera de cuidar els ecosistemes pot ser més ben o mal vista, és innegable que la petjada humana ha marcat un abans i un després en l'evolució del planeta *blau*.

Malauradament, una de les formes a través de les quals es manifesta la intervenció de l'activitat humana amb la natura és a través de la contaminació de l'aire. La degradació de la qualitat de l'aire és una realitat que s'ha evidenciat en els darrers anys. En addició, la *mala* qualitat de l'aire està estretament lligada amb el canvi climàtic; per exemple, la crema de combustibles fòssils genera tant contaminants per l'aire com Gasos d'Efecte Hivernacle (GEH) (United Nation Economic Commission for Europe [UNECE], 2016).

Així doncs, la societat està davant d'un problema que no es pot posposar. Tant la contaminació de l'aire, també anomenada contaminació atmosfèrica, com el Canvi Climàtic són dos conceptes que han gaudit d'un protagonisme aclaparador en els darrers anys i són la preocupació de milions de persones arreu del món. Tant sols l'any 2019, més de 7,6 milions de persones arreu del planeta van mobilitzar-se per demanar *justícia climàtica* als líders polítics mundials (Bir, 2019). Cada vegada més, un missatge clar i contundent va arribant a la societat: "S'ha de cuidar el planeta Terra".

I és que la contaminació atmosfèrica no només impacta negativament sobre la salut del planeta i la seva biodiversitat, sinó que també causa greus problemes a la salut de les persones. Molts estudis han demostrat que la mala qualitat de l'aire incrementa la possibilitat de patir malalties respiratòries, cardiovasculars, càncer i, en el pitjor dels escenaris, la mort (Brook, 2007; Goldberg, et al., 2008; Schwartz et al., 1996; Rovira, et al., 2019).

Altres fonts afirmen que la contaminació de l'aire és el risc ambiental més gran per la salut humana. Segons l'Organització Mundial de la Salut, una de cada nou morts produïdes durant l'any 2012 estava relacionada amb la contaminació atmosfèrica (World Health Organization, 2016). Tant és així, que més del 90% de la població mundial viu en zones que superen els líndars màxims establerts per l'Organització Mundial de la Salut per considerar un aire com a *sa*. En addició, més de la meitat de la població viuen en zones que ni tant sols compleixen l'objectiu de qualitat menys estricta de l'OMS (Health Effects Institute, 2019). Per exemple, els ciutadans d'Àsia, Àfrica o Orient Mitjà són els que respiren uns dels aires més contaminats del planeta (World Health Organization, 2016).

Actualment, els contaminants atmosfèrics que més amenacen la salut de les persones són: Material Particulat (PM per les sigles *Particulate Matter* en anglès), Monòxid de Carboni (CO), Ozó (O3), Diòxid de Nitrogen (NO2) i Diòxid de Sofre (SO2) (World Health Organization, 2020).

Segons el seu origen, aquests contaminants es poden classificar en primaris i secundaris. Els contaminants primaris (PM, CO, NO2 o SO2 entre d'altres) són aquells emesos

directament d'una font, que pot ser d'origen natural (per exemple, l'erupció d'un volcà) o d'origen antropogènic (per exemple, la combustió d'un motor de gasolina). Per altra banda, els contaminants secundaris (O<sub>3</sub> o PM, entre d'altres) són aquells que tenen el seu origen a partir d'interaccions i reaccions que es produeixen entre diferents contaminants primaris a l'atmosfera (Generalitat de Catalunya [GENCAT], 2019).

Així doncs, és fonamental conèixer quines són les fonts emissores de tots aquests contaminants i com estan dispersos en l'espai per poder-hi fer front i revertir la situació.

Fins a l'actualitat, hi ha molts estudis que han analitzat i afirmat la influència de factors socioeconòmics, urbans i climàtics en la qualitat de l'aire (Ren & Matsumoto, 2020; Rovira, et al., 2019; Yalcin, et al., 2021; Yang, et al., 2019; Zhao et al., 2019; Hao et al., 2019; Lin, et al., 2013).

En un d'aquests estudis, a través de diferents sistemes de regressió portats a terme, es demostra que la densitat de població, el PIB per càpita, el percentatge del sector industrial respecte el PIB total, el consum d'energia o bé el nombre de vehicles són variables significatives i correlacionades amb la qualitat de l'aire, és a dir, que expliquen la concentració de contaminants com SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, CO o O<sub>3</sub>. En altres paraules, l'aglomeració de la població, la producció industrial, el desenvolupament econòmic, la crema de carbó i els gasos emesos pels vehicles són fonts directes de contaminació atmosfèrica (Xu, et al., 2019).

Per altra banda, també hi ha estudis que han analitzat les relacions de variables socioeconòmiques i climàtiques amb diversos contaminants, però distingint entre sectors d'activitat. Per exemple, s'ha mesurat la relació de PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> amb variables socioeconòmiques i climàtiques per diversos sectors d'activitat. Algunes conclusions a destacar són que, pel sector industrial, les variables densitat de població i PIB per càpita del sector industrial són les que més bé expliquen les emissions de PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub>, mentre que la mateixa densitat de població i el PIB per càpita són les que més bé expliquen les emissions de NO<sub>x</sub>. El contrari succeeix en el sector residencial, on les emissions de NO<sub>x</sub> sí que estan positivament relacionades amb la densitat de població però negativament relacionades amb el PIB per càpita (Liu, et al., 2018).

Per tant, qualsevol acció enfocada en la millora de la qualitat de l'aire ha de tenir present quines són les principals variables que expliquen la contaminació atmosfèrica. A més, també s'ha de tenir en compte el grau de desenvolupament de la zona en la qual es vol actuar així com també la seva regió geogràfica (Liang & Gong, 2020).

## 1.2 Objectius

El present estudi té la finalitat d'analitzar la contaminació Atmosfèrica a les ciutats més poblades de Catalunya. Per fer-ho, es consideren dos objectius principals:

- Estudiar l'evolució de la qualitat de l'aire de Catalunya des de l'any 2010 fins l'any 2019 (ambdós inclosos).

Amb aquest primer objectiu es vol conèixer quin ha estat el nivell de contaminació atmosfèrica a Catalunya en els darrers anys. Per tant, d'aquest objectiu se'n desprenen de secundaris, tots ells clau per assolir el primari:

- Conèixer quins són els principals contaminants atmosfèrics a Catalunya
  - Estudiar la seva evolució durant 10 anys, des d'una perspectiva descriptiva (numèrica) i des d'una perspectiva espacial.
  - Per tal de poder analitzar l'evolució des d'un punt de vista espacial cal aprendre una metodologia de interpolació geostatística: el mètode *Kriging*.
- Analitzar quines variables tenen influència real en la contaminació atmosfèrica de Catalunya, prenent l'any 2019 com a referència per aquesta part de l'estudi. Amb aquest segon objectiu es vol buscar la relació entre variables socioeconòmiques i climàtiques amb el nivell de contaminació atmosfèrica. Per aconseguir-ho, és necessari:
- Conèixer quines variables expliquen el nivell de qualitat de l'aire a partir de les publicacions d'altres autors a la literatura.
  - Trobar la millor manera de relacionar les dades de contaminació atmosfèrica amb les variables socioeconòmiques i climàtiques, doncs totes elles parteixen de punts espacials diferents.
  - Comprovar si els resultats obtinguts coincideixen, o no, amb els que s'han obtingut en altres estudis fets sobre aquesta matèria.

### 1.3 Presentació de les bases de dades

#### *Àmbit de l'estudi*

L'anàlisi que es porta a terme està centrat a Catalunya, una comunitat autònoma d'Espanya.

A l'hora de seleccionar les ciutats que s'han inclòs en el present anàlisi, s'han tingut en compte dos criteris:

- Que el nombre d'habitants de l'any 2019 sigui superior a 20.000.
- Que compti, com a mínim, amb un punt de mesurament automàtic de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica amb mesures pels anys d'entre 2010 fins el 2019 (ambdós inclosos). Cal dir que no tots els punts de mesurament inclosos en el treball tenen dades per tots els 10 anys citats.

Per tal de fer més interessants els posteriors anàlisis, tot el conjunt de ciutats catalanes incloses en l'estudi s'han classificat en tres grups, en funció de la seva localització; aquests tres grups són: Barcelona (Ciutat), Àrea Metropolitana de Barcelona i Resta de Catalunya.

La *Taula 1* presenta la mostra de ciutats utilitzada pel present estudi:

<b>Barcelona Ciutat (BCNC)</b>	<b>Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB)</b>	<b>Resta de Catalunya (RCAT)</b>
- Barcelona	- Badalona - Barberà del Vallès - Cornellà de Llobregat - El Prat de Llobregat - Gavà - L'Hospitalet de Llobregat - Montcada i Reixac - Sant Adrià de Besòs - Sant Andreu de la Barca - Sant Cugat del Vallès - Sant Feliu de Llobregat - Sant Vicenç dels Horts - Santa Coloma de Gramenet - Viladecans	- Terrassa - Sabadell - Lleida - Tarragona - Mataró - Reus - Girona - Manresa - Rubí - Vilanova i la Geltrú - Granollers - Mollet del Vallès - Vic - Igualada - Vilafranca del Penedès - Sitges - Martorell - Santa Perpètua de Mogoda - Vila-seca - Amposta - Manlleu

Taula 1: Ciutats incloses en l'estudi. Total: 36 ciutats. Font: Elaboració pròpia.

A l'hora de seleccionar els contaminants inclosos en el present estudi, s'han tingut en compte aquells que han estat analitzats per altres autors en la literatura ja existent. A més, s'han seleccionat aquells dels quals es tenen més dades de mesurament disponibles<sup>1</sup>.

La Taula 2 mostra els contaminants que es tenen en compte pel present estudi:

<b>Contaminant</b>	<b>Fórmula o mnemotècnic</b>	<b>Unitat de mesura</b>
Diòxid de Nitrogen	NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Monòxid de Nitrogen	NO	µg/m <sup>3</sup>
Ozó troposfèric	O <sub>3</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Diòxid de Sofre	SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Monòxid de Carboni	CO	mg/m <sup>3</sup>
Òxids de Nitrogen	NO <sub>x</sub>	µg/m <sup>3</sup>
Partícules en Suspensió (Ø 10 µm)	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>

Taula 2: Contaminants inclosos en l'estudi

<sup>1</sup> Consultar Apèndix A.4 per observar la quantitat de registres per cada contaminant durant el període estudiat.

- Òxids de nitrogen ( $\text{NO}_x$ ): Grup de compostos químics gasosos molt reactius. Els més importants són l'òxid nítric ( $\text{NO}$ ) i el diòxid de nitrogen ( $\text{NO}_2$ ). La majoria dels  $\text{NO}_x$  s'emeten a l'aire a través del trànsit terrestre, aeri i marítim, així com també a través de l'activitat industrial. La major part d'aquestes emissions arriben a l'atmosfera en forma de  $\text{NO}$ , el qual s'oxida ràpidament a  $\text{NO}_2$  (Generalitat de Catalunya [GENCAT], 2021, a).
- Ozó troposfèric ( $\text{O}_3$ ): És un contaminant secundari d'origen fotoquímic, és a dir, que es forma a partir de reaccions químiques entre contaminants primaris com poden ser els òxids de nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) i els compostos orgànics volàtils, així com també per l'acció de la llum solar. L'ozó es troba de forma natural a l'estratosfera, i protegeix de les radiacions de rajos ultraviolats (GENCAT, 2021, a).
- Diòxid de Sofre ( $\text{SO}_2$ ): És un gas incolor i contaminant atmosfèric. Forma part del grup dels Òxids de Sofre ( $\text{SO}_x$ ), essent-ne el més significatiu. El seu origen es troba en la crema de determinats combustibles fòssils, com ara el carbó i la gasolina (Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro [CeMCAQ], 2017).
- Monòxid de Carboni ( $\text{CO}$ ): És un contaminant primari gasós incolor, amb un alt grau de toxicitat. Neix com a conseqüència de la combustió deficient en determinades condicions on manca l'oxigen (ja que, si no manca l'oxigen, en comptes de produir-se  $\text{CO}$  es produeix  $\text{CO}_2$  (Diòxid de Carboni)) (Generalitat de Catalunya [GENCAT], 2010).
- Partícules en suspensió (o Material Particulat) (PM): Combinació de partícules líquides i sòlides de substàncies orgàniques i inorgàniques que es troben en l'aire. Les Partícules en suspensió es classifiquen en funció del que s'anomena el diàmetre aerodinàmic, i es distingeixen les partícules de 10 micres ( $\text{PM}_{10}$ ) i les partícules de menys de 2,5 micres ( $\text{PM}_{2,5}$ ). El seu origen es troba en les emissions del trànsit, la indústria, les emissions domèstiques o també emissions a partir de fonts naturals, com per ser la pols africana (GENCAT, 2021, a).

Així doncs, amb la mostra de ciutats acabada i els contaminants a analitzar seleccionats i contextualitzats, s'han creat les tres bases de dades principals per tal de desenvolupar l'estudi.

#### *Base de dades 1: Mesurament de la qualitat de l'aire <sup>2</sup>*

En primer lloc, cal dir que totes les dades de mesurament de qualitat de l'aire s'han extret dels *Punts de Mesurament Automàtics de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA)*, un registre de dades proporcionat pel Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya (Generalitat de Catalunya [GENCAT], 2021, b). Aquesta xarxa de punts de mesurament ofereix els valors horaris de contaminació registrats per a diferents contaminants des de l'any 1991.

D'aquesta xarxa de punts de mesurament de la qualitat de l'aire de Catalunya cal tenir-ne present el següent:

---

<sup>2</sup> Consultar Apèndix A.1 per veure la base de dades utilitzada.

- Encara que el seu origen es troba l'any 1991, no totes les estacions de mesurament tenen registres des d'aquest any; més aviat el contrari, a mesura que han avançat els anys, més estacions de mesurament s'han anat incorporant a la xarxa. Per exemple, si s'observa la *base de dades 1* a l'apèndix, es pot comprovar com es tenen molts més registres de contaminació de l'any 2019 que de l'any 2010, pel motiu que s'ha comentat.
- No totes les estacions de mesurament de qualitat de l'aire acumulen registres de tots els contaminants. Per aquest motiu, cal tenir present quins contaminants es registren a cada estació. Per exemple, l'estació de mesurament de la qualitat de l'aire establerta a Vic mesura dos contaminants atmosfèrics, mentre que l'estació de mesurament de Lleida en mesura set.
- La combinació del primer punt i del segon fa que cada estació de mesurament sigui un cas concret que cal conèixer, doncs les variables anys i contaminants registrats poden ser completament diferents en cada cas.
- Per últim, cal dir que hi ha algunes ciutats que compten amb més d'un punt de mesurament de qualitat de l'aire, com per exemple Tarragona o Barcelona.

En segon lloc, la *base de dades 1* està formada per les següents variables:

- **Nom Estació:** Nom que rep l'estació encarregada de mesurar el nivell de qualitat de l'aire. Cal tenir present que hi ha municipis que compten amb més d'un punt de mesurament de qualitat de l'aire.
- **Municipi:** Població en la qual està situada l'estació de mesurament
- **Coordenades X:** Longitud de l'estació.
- **Coordenades Y:** Latitud de l'estació.
- **Valor mitjà de cada un dels contaminants per a cada un dels anys analitzats.**

En tercer lloc, la *base de dades 1* s'ha creat una vegada s'ha tingut la mostra de les ciutats tancada. Amb la mostra tancada, s'han llistat tots els punts de mesurament de qualitat de l'aire amb què compten les ciutats, fet pel qual de les 36 ciutats de la mostra s'han obtingut 51 punts de mesurament.

Així doncs, per obtenir les dades de contaminació per a cada un dels punts de mesurament s'han portat a terme un seguit de passos. Per fer-ho més fàcil de llegir, se suposa que es volen obtenir els registres de contaminació de l'estació de Terrassa.

1. Descàrrega dels registres de contaminació de l'aire pels anys 2010 fins el 2019, a través de la pàgina web que ofereix la Generalitat de Catalunya (Generalitat de Catalunya [GENCAT], 2021, c). Amb aquest pas s'obté un fitxer csv.
2. Importació del fitxer csv en un nou document de Microsoft Excel per poder tractar les dades.
3. Una vegada les dades importades, la primera feina a realitzar és comprovar que hi hagi mesuraments de la qualitat de l'aire de, com a mínim, el 80% dels dies d'un any natural, és a dir, es comprova que, per exemple, pel contaminant NO<sub>2</sub> per l'any 2010 de l'estació de Terrassa, hi hagi un mínim de 292 dies amb registres.
4. Si s'assoleix el mínim establert, es calcula la mitjana de tots els valors de NO<sub>2</sub> que ha tingut l'estació de Terrassa per l'any 2010.
  - a. En aquest punt cal dir que, com que els valors que ofereix la XVPCA són amb franges temporals de 1 hora, es pot calcular la mitjana dels

contaminants de tres maneres principals; 1) es pot fer una mitjana diària amb les 24 mesures que ofereix la XVPCA i posteriorment realitzar una mitjana amb totes les mitjanes obtingudes per a cada un dels dies de l'any, obtenint així una primera mitjana; 2) es pot fer una mitjana horària amb totes les mesures que ofereix la XVPCA per a cada una de les 24 hores del dia i posteriorment una mitjana amb les 24 mitjanes obtingudes; 3) fer una mitjana de tots els valors de l'any a la vegada, sense realitzar cap *mitjana de mitjanes*. Després de comprovar tots tres mètodes, s'ha demostrat com els resultats coincideixen en més d'un 99,8%, és a dir, el resultat final és pràcticament el mateix. Així doncs, el mètode utilitzat per calcular les mitjanes dels valors de contaminació atmosfèrica ha estat el 3.

5. Una vegada calculada la mitjana en qüestió, s'incorpora la mitjana anual de NO<sub>2</sub> registrada a l'estació de Terrassa per a l'any 2010. I així successivament fins a assolir tota la mostra de l'estudi.

### *Base de dades 2: Variables Socioeconòmiques*<sup>3</sup>

En primer lloc, cal dir que, a diferència de la *Base de dades 1* de contaminants atmosfèrics, aquesta segona base de dades distingeix entre ciutats i no entre punts de mesurament de qualitat de l'aire, tal com es mostra seguidament, amb l'excepció de la ciutat de Barcelona, cas que s'explica posteriorment.

En segon lloc, la *Base de dades 2* està formada per les següents variables:

Variabls incorporades a la base de dades per totes les ciutats de l'estudi, excepte Barcelona ciutat:

- **Ciutat**: Nom de la ciutat
- **Pob**: Nombre d'habitants de la ciutat de l'any 2019 (Institut d'Estadística de Catalunya [IDESCAT], 2019).
- **Den**: Nº d'Habitants / Km<sup>2</sup> de superfície de la ciutat (IDESCAT, 2019).
- **PIB**: Producte Interior Brut de la ciutat de l'any 2018, expressat en milions d'euros (Institut d'Estadística de Catalunya [IDESCAT], 2020).
- **RFDB**: Renda Familiar Disponible Bruta de l'any 2017, essent l'índex de Catalunya = 100 (ciutats per sobre es troben per sobre la mitjana de Catalunya i viceversa) (IDE17).
- **RFDB\_hab**: Renda Familiar Disponible Bruta per habitant de l'any 2017, expressada en milers d'euros (Institut d'Estadística de Catalunya [IDESCAT], 2021).
- **VAB\_Agr**: Valor Afegit Brut del sector de l'*Agricultura* per l'any 2017, expressat en milions d'euros (IDESCAT, 2021).
- **VAB\_Ind**: Valor Afegit Brut del sector *Industrial* per l'any 2017, expressat en milions d'euros (IDESCAT, 2021).
- **VAB\_Con**: Valor Afegit Brut del sector de la *Construcció* per l'any 2017, expressat en milions d'euros (IDESCAT, 2021).

---

<sup>3</sup> Consultar Apèndix A.2 per veure la base de dades utilitzada.

- **VAB\_Ser**: Valor Afegit Brut del sector *Serveis* per l'any 2017, expressat en milions d'euros (IDESCAT, 2021).
- **Pa\_Veh**: Total parc de Vehicles per l'any 2019 (Ajuntament de Barcelona, 2020, a; IDESCAT, 2021).
- **Pa\_Veh/hab**: Parc de Vehicles per habitant per l'any 2019 (IDESCAT, 2021).

Variables incorporades a la base de dades per cada un dels districtes de Barcelona:

- **Pob**: Nombre d'habitants per districte de la ciutat de l'any 2019 (Ajuntament de Barcelona, 2020, b)..
- **Den**: Nº d'Habitants / Km2 de superfície per districte de la ciutat de l'any 2019 (Ajuntament de Barcelona, 2020, b).
- **RFDB**: Renda Familiar Disponible Bruta per districte de l'any 2017, essent l'índex de Catalunya = 100 (Ajuntament de Barcelona, 2020, b).
- **RFDB\_hab**: Renda Familiar Disponible Bruta per habitant per districte de l'any 2017, expressada en milers d'euros (Ajuntament de Barcelona, 2020, b).
- **Pa\_Veh**: Total parc de Vehicles per districtes de l'any 2019 (Ajuntament de Barcelona, 2020, a).
- **Pa\_Veh/hab**: Parc de Vehicles per habitant per cada districte de Barcelona per l'any 2019 (Ajuntament de Barcelona, 2020, a).

Per tal de crear la base de dades 2, s'han seleccionat aquelles variables socioeconòmiques amb les que prèviament s'ha demostrat la seva influència en el nivell de contaminació de l'aire. Variables com *Població*, *Densitat de Població*, *Producte Interior Brut*, *Valor Afegit Brut del sector Industrial*, han estat incloses en nombrosos articles de la literatura, tal com s'ha mostrat en el primer apartat de la *Introducció*.

En tercer lloc, cal comentar que a l'apartat de *Metodologia* es poden veure explicades algunes particularitats d'aquesta *Base de dades 2*, com per exemple el perquè la ciutat de Barcelona està dividida per districtes i la resta de ciutats s'agrupen com un tot.

### *Base de dades 3: Variables Climàtiques*<sup>4</sup>

Primerament, cal dir que la *Base de dades 3* segueix l'estructura de la *Base de dades 1*, ja que presenta les observacions climàtiques per a cada punt de mesurament de la qualitat de l'aire. A l'apartat de *Metodologia* s'explica com s'ha preparat aquesta base de dades i quina metodologia s'ha utilitzat per obtenir cada un dels valors.

En segon lloc, la *Base de dades 3* està formada per les següents variables:

- **Nom de l'estació**: Estació de mesurament de la qualitat de l'aire a la qual se li ha assignat la variable climàtica.

---

<sup>4</sup> Consultar Apèndix A.3 per veure la base de dades utilitzada.

- **Coordenades X:** Longitud de l'estació.
- **Coordenades Y:** Latitud de l'estació.
- **TMM:** Temperatura mitjana anual obtinguda.
- **VNT:** Velocitat mitjana del vent a 10 metres obtinguda.
- **SOL:** Mitjana de irradiació solar global diària obtinguda.

Les variables *TMM*, *VNT* i *SOL* de la *Base de dades 3* s'han hagut de treballar prèviament per tal de poder-les incorporar a la base de dades. Els procediments que s'han utilitzat estan exposats a la *Metodologia* del present treball.

#### *Inconvenients de les bases de dades del treball*

Durant la preparació de les tres bases de dades presentades anteriorment han anat sorgint diversos inconvenients, la resolució dels quals ha estat significativa pel desenvolupament del treball. Els inconvenients han estat els següents:

- Respecte la *Base de dades 1*, el fet que pràcticament cada estació de mesurament de qualitat de l'aire reculli dades de contaminants i anys diferents ha comportat que aquesta primera base de dades sigui poc homogènia. Com a conseqüència, la *Base de dades 1* compta amb molts *missing values*, és a dir, moltes estacions de mesurament de la qualitat de l'aire on hi falten registres de contaminació en anys diferents.
- Les tres bases de dades presentades anteriorment recullen: registres de contaminació, variables socioeconòmiques i variables climàtiques. L'inconvenient principal ha estat que totes tres bases de dades oferien dades amb diferents referències espacials. En primer lloc, les estacions de mesurament de qualitat de l'aire estan situades en punts específics d'arreu de Catalunya; les dades socioeconòmiques representen ciutats en el seu conjunt; i les dades climàtiques, en el seu inici, estaven situades en punts específics d'arreu de Catalunya diferents d'on es mesura la qualitat de l'aire. Per tant, un dels aspectes que s'ha tingut present al llarg de tot el treball és com s'han anat casant aquestes tres bases de dades per tal de poder-les utilitzar conjuntament.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Preparació i elaboració de les bases de dades 2 i 3

La primera part de la metodologia està destinada a explicar quins procediments s'han emprat per tal d'elaborar la *Base de dades 2* (presentada anteriorment, relativa a les variables socioeconòmiques) i la *Base de dades 3* (també presentada anteriorment, relativa a les variables climàtiques), doncs totes dues han hagut d'estar treballades previ a poder-les utilitzar en l'estudi.

#### *Base de dades 2: Variables Socioeconòmiques*

Com s'ha comentat a la *Presentació de les dades*, les variables socioeconòmiques estan agrupades per ciutats, mentre que les dades de contaminació atmosfèrica de la *Base de dades 1* estan agrupades per estacions de mesurament. Després de realitzar l'anàlisi clúster, el qual està explicat a les següents pàgines, s'ha observat com hi ha diferents punts de mesurament de qualitat de l'aire de la ciutat de Barcelona que es troben en diferents clústers; per altra banda, la *Base de dades 2* (de variables socioeconòmiques) està estructurada per ciutats. Com es pot veure, cal desgranar les variables socioeconòmiques de Barcelona per tal de poder-les assignar a cada un dels clústers al qual pertanyin. Per tal de portar a terme aquesta distribució, s'ha optat per dividir Barcelona per districtes, atenent al que mostra la següent taula:

<b>Districte de Barcelona Ciutat</b>	<b>Punt de mesurament XVPCA assignat</b>
Ciutat Vella	Barcelona (Ciudadella)
Eixample	Barcelona (Eixample)
Sants – Montjuïc	Barcelona (Sants)
Les Corts	Barcelona (Palau Reial)
Sarrià – Sant Gervasi	Barcelona (Observatori Fabra)
Gràcia	Barcelona (Gràcia - Sant Gervasi)
Horta-Guinardó	Barcelona (Parc Vall Hebron)
Nou Barris	Barcelona (Parc Vall Hebron)
Sant Andreu	Barcelona (Poblenou)
Sant Martí	Barcelona (Poblenou)

*Taula 3: Assignació de Punts de mesurament de qualitat de l'aire a cada districte de Barcelona.*

*Font: Elaboració pròpia*

Com es pot veure, els deu districtes de Barcelona s'han distribuït en els vuit punts de mesurament de qualitat de l'aire que hi ha a la ciutat. Els districtes de *Ciutat Vella*, *Eixample*, *Sants-Montjuïc*, *Les Corts*, *Sarrià-Sant Gervasi*, *Gràcia*, *Horta-Guinardó* i *Sant Martí* compten amb un punt de mesurament cadascun, mentre que *Nou Barris* i *Sant Andreu* no tenen cap punt de mesurament de la qualitat atmosfèrica dins el districte. Per aquest motiu, aquests dos últims districtes s'han agrupat amb *Horta-Guinardó* i *Sant Martí* respectivament; aquesta agrupació s'ha fet basant-se en la proximitat dels districtes, doncs s'han unit aquells districtes més pròxims entre ells.

Aquesta re-distribució de districtes i punts de mesurament de qualitat de l'aire ha comportat canvis a la *Base de dades 2*, doncs totes les dades socioeconòmiques de Barcelona s'han hagut de distribuir entre districtes. Malauradament, no s'han obtingut totes les variables socioeconòmiques de les quals es disposen per la resta de ciutats, de tal manera que les variables de les quals es disposa per cada districte de Barcelona són les següents:

- **Pob**: Nombre d'habitants per districte de la ciutat de l'any 2019 (Ajuntament de Barcelona, 2020, b).
- **Den**: Nº d'Habitants / Km2 de superfície per districte de la ciutat de l'any 2019 (Ajuntament de Barcelona, 2020, b).
- **RFDB**: Renda Familiar Disponible Bruta per districte de l'any 2017, essent l'índex de Catalunya = 100 (Ajuntament de Barcelona, 2020, b).
- **RFDB\_hab**: Renda Familiar Disponible Bruta per habitant per districte de l'any 2017, expressada en milers d'euros (Ajuntament de Barcelona, 2020, b).
- **Pa\_Veh**: Total parc de Vehicles per districtes de l'any 2019 (Ajuntament de Barcelona, 2020, a).
- **Pa\_Veh/hab**: Parc de Vehicles per habitant per cada districte de Barcelona per l'any 2019 (Ajuntament de Barcelona, 2020, a).

En aquest punt, cal dir que per la variable **RFDB**, la qual es mesura amb un nivell mitjà de 100 a Catalunya, s'ha hagut de transformar pels districtes de Barcelona. Segons l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT) el nivell de la ciutat de Barcelona per aquest índex és de 122,40 punts; però les dades que ofereix l'Ajuntament de Barcelona pels districtes parteixen de la base que la mitjana de la ciutat és de 100 punts, i no pas de 122,4. Per tant, s'han ajustat tots els districtes per tal que estiguin en harmonia amb la resta de ciutats de Catalunya.

Per altra banda, cal especificar que pels districtes que s'han unit (*Horta-Guinardó – Nou Barris i Sant Martí – Sant Andreu*) aquestes dades econòmiques s'han sumat per posteriorment calcular la mitjana aritmètica, atorgant el mateix pes a cada un dels districtes.

### *Base de dades 3: Variables Climàtiques*

La *Base de dades 3*, relativa a les variables climàtiques, s'ha preparat seguint els següents passos:

- Primerament, es va accedir a l'*Anuari de dades meteorològiques de l'any 2019*, publicat pel Servei Meteorològic de Catalunya. D'aquest anuari de dades, es van recollir dades climàtiques de les ciutats que s'han inclòs a l'estudi, presentades a la *Taula 1*. Concretament, es van recollir dades sobre la temperatura mitjana, la precipitació acumulada, la humitat relativa, la velocitat del vent i la quantitat de irradiació solar. Malauradament, només es van poder obtenir dades climàtiques de menys del 50% de les ciutats incloses a l'estudi. A més, com que les estacions meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya estan ubicades en coordenades diferents a les establertes als *Punts de Mesurament Automàtics de la*

*Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA)*, cal una transformació de les dades.

- Per tal de trobar els valors meteorològics corresponents a cada una de les estacions de mesurament de qualitat de l'aire a partir de les dades climàtiques de les que es disposa, s'ha utilitzat la metodologia de interpolació geoestadística *Kriging*<sup>5</sup>.
- Després de provar diferents models de Kriging i auto-Kriging, s'ha acabat creant la pròpia *Base de dades 3*, atenent als següents requisits per a cada una de les variables:
  - TMM (Temperatura mitjana anual): S'han obtingut els valors per a cada una de les 51 estacions de mesurament de qualitat de l'aire utilitzant *Kriging, model esfèric*.
  - VNT (Velocitat mitjana del vent a 10 metres): S'han obtingut els valors per a cada una de les 51 estacions de mesurament de qualitat de l'aire utilitzant *Auto-Kriging, model exponencial*.
  - SOL (Mitjana de irradiació solar global diària): S'han obtingut els valors per a cada una de les 51 estacions de mesurament de qualitat de l'aire utilitzant *Auto-Kriging, model exponencial*.

Una vegada s'han aclarit les particularitats de la base de dades, es presenta la metodologia utilitzada en cada un dels dos objectius principals d'aquest treball. Per a cada un d'aquests, s'han portat a terme feines i anàlisis diferents. Per aquest motiu, es presenta, de forma separada, la metodologia utilitzada per assolir cada un dels objectius citats.

## 2.2 OBJECTIU 1: Estudiar l'evolució de la qualitat de l'aire de Catalunya

Per tal d'observar l'evolució de la qualitat de l'aire a Catalunya durant els deu anys citats, s'han fet dues tipologies d'anàlisi. En primera instància, s'ha portat a terme una anàlisi numèric de l'evolució dels contaminants, observant només els seus valors durant els anys de l'estudi. En segona instància, per tal de complementar el primer apartat, s'ha portat a terme una anàlisi geoestadística, on s'han representat les concentracions de contaminació atmosfèrica en un mapa de Catalunya, per tal de mostrar la seva evolució d'una manera més visual.

### *Anàlisi numèric de l'evolució de la qualitat de l'aire*

En primer lloc, per tal de portar a terme aquest primer anàlisi numèric de l'evolució de la qualitat de l'aire, s'han elaborat set gràfics de línies on es pot observar l'evolució de la qualitat de l'aire pel que fa a cada un dels contaminants estudiats des de l'any 2010 fins l'any 2019. A més, seguint el que s'ha exposat a la introducció, per tal de fer aquesta anàlisi s'han agrupat les estacions de mesurament de qualitat de l'aire en tres grups: les estacions que formen part de Barcelona *ciutat* (BCNC), les estacions que es troben a

---

<sup>5</sup> A l'apartat de *Metodologia* d'aquest treball es fa una petita introducció al mètode *Kriging*.

l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) i les estacions de la resta de Catalunya (RCAT). Per realitzar aquests gràfics, s'ha utilitzat *Microsoft Excel*.

Primerament, s'han obtingut les mitjanes per tots tres grups (BCNC, AMB i RCAT) de cada un dels contaminants per a cada un dels anys estudiats; per fer-ho, s'han creat set taules (una per cada contaminant) on es veuen reflectides les mitjanes de cada un dels grups<sup>6</sup>. Per tal d'obtenir aquestes mitjanes s'ha utilitzat la funció de *Taula Dinàmica* que ofereix el propi *Microsoft Excel*. Amb les taules en qüestió preparades, s'han creat els set gràfics de línies.

Ara bé, a l'hora de realitzar aquest primer anàlisi, hi ha hagut dos inconvenients. Per una banda, com s'ha pogut veure a la *Taula 1*, hi ha més ciutats (i com a conseqüència, més punts de mesurament de la qualitat de l'aire) a la resta de Catalunya (RCAT) que no pas a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) o Barcelona ciutat (BCNC). Encara que hi hagi diverses ciutats que comptin amb més d'un punt de mesurament de la qualitat de l'aire<sup>7</sup>, la mostra utilitzada per aquests tres grups és diferent. Per altra banda, la base de dades a partir de la qual es treballa és incompleta, en el sentit que no totes les estacions de mesurament seleccionades registren els valors de tots els contaminants per a tots els anys de l'estudi.

Davant d'aquests dos inconvenients, s'ha decidit crear set taules de valors més, iguals que les de mitjanes utilitzades anteriorment, però aquesta vegada, en comptes de anotar-hi les mitjanes dels valors de qualitat de l'aire, s'hi ha anotat el nombre d'observacions a partir del qual s'han realitzat aquestes mitjanes i, conseqüentment, els gràfics. A partir d'això, s'han pogut elaborar set gràfics de barres<sup>8</sup> on es pot veure visualment la mida de la mostra utilitzada per tal d'elaborar els gràfics de línies citats anteriorment.

### *Anàlisi espacial de l'evolució de la contaminació a Catalunya: Mètode Kriging*

Per tal de desenvolupar aquesta segona part del primer objectiu del treball, s'ha volgut analitzar, des d'una perspectiva espacial, l'evolució dels contaminants atmosfèrics a Catalunya. Per fer-ho, s'ha utilitzat el mètode *Kriging*.

#### Introducció al Kriging i com s'ha utilitzat en el present estudi

El Kriging és un mètode de interpolació geoestadística, que va agafar el nom d'un enginyer de mines sud-africà anomenat D.G. Krige, qui va desenvolupar aquesta tècnica per tal de predir, d'una manera més acurada, les reserves de minerals (Brea, 2013).

Quan es vol portar a terme un estudi en l'àmbit de la geoestadística es necessiten sensors ubicats dins un determinat territori per tal de mesurar la variable que es vulgui explicar. En el present estudi, els sensors serien els *Punts de Mesurament Automàtics de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA)*, i el territori seria Catalunya. El problema neix quan no es poden posar tants punts com es voldria, és a dir, no es té, per exemple, les mesures de la qualitat de l'aire per totes les ciutats de

---

<sup>6</sup> Les taules es poden trobar a l'Apèndix A.5.

<sup>7</sup> Per saber la totalitat de punts de mesurament inclosos en l'estudi, veure la Base de Dades 1 completa l'Apèndix A.1.

<sup>8</sup> Les taules i els gràfics de barres es poden consultar a l'Apèndix A.6.

Catalunya, fet que dóna peu a que s'hagi d'interpol·lar. En poques paraules, interpol·lar consisteix en obtenir dades de nous punts partint només del coneixement d'un conjunt de punts, és a dir, trobar una dada d'un nou punt partint només de valors en els seus extrems. Fent referència a l'estudi que s'està portant a terme, el fet de voler mostrar l'evolució del nivell de contaminació atmosfèrica a tot Catalunya partint només d'un determinat nombre d'estacions de mesurament, fa que neixi la necessitat d'interpol·lar, en aquest cas utilitzant Kriging.

El mètode de interpol·lació geoestadística Kriging parteix de la base que els punts que estan a prop entre ells tenen un cert grau de correlació espacial, mentre que els punts que estan molt separats són estadísticament independents.

Per tal de mesurar la correlació espacial, el Kriging utilitza el variograma. Un variograma, o semivariograma, és un tipus de gràfic que permet analitzar el comportament espacial d'una variable sobre una àrea ja definida, és a dir, permet conèixer la distància màxima a la que una determinada mostra té influència sobre una altra (Oliver & Webster, 2014; Fundació Wikipedia Inc., 2020; Fundació Wikipedia Inc., 2021). Aquest grau de dependència espacial entre dues mostres s'anomena semivariància. Per tant, es podria considerar que el semivariograma és la representació gràfica de les semivariàncies.

Un variograma, o semivariograma, està format per dos eixos: a l'eix de coordenades hi ha la distància (anomenada  $h$ ); a l'eix d'ordenades hi ha els valors de la semivariància. Aquest variograma obtingut a partir de les dades de la mostra també s'anomena variograma experimental. Amb R, l'obtenció del variograma experimental a partir de les dades de la mostra s'ha elaborat utilitzant de la instrucció *variogram()*.

Per tal de poder utilitzar el mètode de interpol·lació Kriging, és necessari realitzar un model matemàtic que model·li el variograma experimental de la millor manera possible, per així aconseguir l'anomenat variograma teòric. Amb R, aquest modelatge s'ha fet a través de la instrucció *fit.variogram()*.

Per tal d'obtenir el variograma teòric, cal conèixer determinats conceptes del variograma experimental, els quals es presenten a continuació:

- *Sill*: Si s'observa un variograma, es pot veure com a partir d'un cert nivell de distància, la semivariància no augmenta amb la distància, sinó que s'estabilitza, donant lloc al *sill* (altiplà en català).
- Rang: La distància que hi ha des de l'inici del variograma fins al *sill* rep el nom de rang.
- *Nugget Effect*: L'extrapolació de la corba del semivariograma per una distància 0, és a dir, el punt on la corba extrapolada del variograma talla l'eix d'ordenades.

A l'hora de modelar el variograma experimental, cal indicar els valors dels tres conceptes anteriors, juntament amb el model de Kriging que es vulgui portar a terme. Hi ha diversos models de Kriging (Lineal, Esfèric, Exponencial o Gaussiano).

En addició a l'explicat fins ara, el software R compta amb una llibreria (*automap*) que permet fer Kriging d'una manera més automàtica: primerament, amb la funció *autofitVariogram()* et permet crear el variograma experimental de la base de dades i dibuixar-hi el model que més s'hi ajusta de forma automàtica (és a dir, R estableix els paràmetres *Sill*, Rang i *Nugget Effect* comentats anteriorment). Quan s'ha comprovat

que el model que ha proposat R s'adapta al variograma experimental, es pot procedir a fer *auto-Kriging* a través de la funció *autoKrige()*, la qual realitza la interpolació geoestadística i assigna un determinat valor a cada una de les cel·les amb les quals s'hagi dividit una àrea prèviament establerta. Es comenta aquesta basant del Kriging perquè en casos concrets d'aquest treball s'ha hagut de recórrer a aquesta llibreria, doncs el Kriging fet de forma manual no aportava els resultats desitjats.

Així doncs, en funció de les dades de les quals s'ha disposat, s'ha optat per fer un determinat Kriging o un altre, amb la finalitat de buscar un mètode que reflecteixi d'una manera realista la contaminació atmosfèrica a Catalunya. A l'apartat de *Resultats* es pot veure quin tipus de Kriging s'ha portat a terme per a cada un dels contaminants que s'han fet *mapes de calor*.

### 2.3 OBJECTIU 2: Analitzar quines variables tenen influència en la contaminació atmosfèrica de Catalunya

D'igual manera que amb el primer, per tal de portar a terme el segon objectiu s'han practicat dues tipologies d'anàlisi. Ara bé, a diferència de l'objectiu anterior, aquestes dues anàlisis estan relacionades entre sí. En primer lloc, s'ha realitzat una anàlisi clúster dels diferents contaminants i, seguidament, prenent com a referència els clústers obtinguts, s'ha analitzat quines relacions hi ha entre els diferents contaminants atmosfèrics i les variables socioeconòmiques i climàtiques.

Abans de procedir, cal tenir present que per assolir aquest segon objectiu, només s'analitza la contaminació atmosfèrica de Catalunya per l'any 2019, fet pel qual, d'ara en endavant, ja es donarà per fet en els escrits.

#### *Anàlisi Clúster*

L'anàlisi clúster és un mètode que permet classificar diverses observacions en diversos grups, en funció de la proximitat de les característiques mesurades. Així doncs, amb una anàlisi clúster, es busca que les observacions de cada un dels grups obtinguts siguin tant homogènies com sigui possible i, a la vegada, es busca que els grups entre ells siguin tant heterogenis com sigui possible.

L'anàlisi clúster és una metodologia utilitzada en moltes àrees de coneixement. Un dels sectors on s'utilitza és en l'econòmic i empresarial, ja que permet portar a terme investigació de mercats, segmentar la població o bé fer anàlisi empresarial.

Per altra banda, cal tenir present que cada anàlisi clúster és diferent, fet pel qual s'han d'establir una sèrie de paràmetres i condicions durant el seu procediment.

Es parteix de la base de dades a partir de la qual es volen identificar els clústers; en el present estudi seria la *Base de dades 1*, que és la que recull les dades de contaminació atmosfèrica de les diferents estacions de mesurament de Catalunya.

Seguidament, s'estableix amb quin tipus de distància es vol mesurar les observacions. Com és de pensar, hi ha diferents distàncies, com per exemple la distància *Euclidiana*, la distància de *Manhattan*, la distància de *Minkowski*, la distància de *Canberra* o bé la distància de *Jaccard*, entre moltes d'altres. Totes elles quantifiquen i mesuren el grau de similitud (o dissimilitud) que hi ha entre dues observacions de maneres diferents. (Oller, 2020).

Seleccionada la distància més adient per la base de dades que es vol *clusteritzar*, cal distingir quin és el mètode d'agrupació més adient. De la mateixa manera que amb les distàncies, hi ha diferents mètodes d'agrupació per identificar grups. La primera distinció és entre *Mètodes jeràrquics* i *Mètodes no jeràrquics*; Els mètodes jeràrquics poden ser divisius (es parteix d'un sol grup amb totes les observacions i aquest es va dividint fins a arribar a grups elementals) o bé aglomeratius (cada una de les observacions és un grup elemental i aquests es van fusionant fins arribar a la formació d'un sol grup), i existeixen diferents mètodes, com ara el mètode *Single, Complete, Average, Centroid, Ward* o bé *Ward.D2*, entre d'altres. Cada un d'aquests fa l'agrupació i creació de grups de maneres diferents, per això és important conèixer cada un dels mètodes. És interessant destacar que el mètode jeràrquic permet fer representacions dels clústers en forma de dendrogrames, fet que no és possible quan s'utilitzen mètodes no jeràrquics.

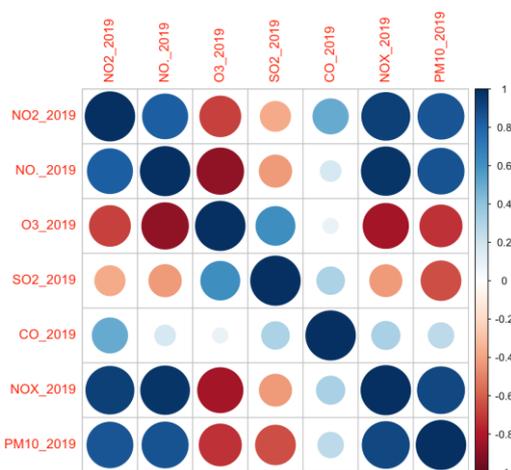
Per la seva banda, els Mètodes no jeràrquics treballen d'una manera diferent. Per exemple, el mètode no jeràrquic *K-means* té per finalitat buscar la millor divisió entre grups, només tenint en compte la distància *Euclidiana*. Una de les coses que el diferencien dels mètodes jeràrquics és que s'ha d'especificar el nombre de grups (*k*) amb els quals es volen agrupar les observacions a l'inici de l'anàlisi, fet pel qual s'ha de conèixer bé la base de dades que s'està tractant.

Tenint clares aquestes condicions prèvies, es pot desenvolupar l'anàlisi clúster d'una determinada base de dades.

Pel present estudi s'ha realitzat l'anàlisi clúster utilitzant dues aplicacions informàtiques: Microsoft Excel, on es tenien recollides les dades de contaminació; i el software R, que ha permès desenvolupar tot l'anàlisi clúster.

La idea inicial era realitzar una sola anàlisi clúster on es tinguessin en compte tots els set contaminants que s'estudien, per així obtenir clústers representatius de tots els contaminants. El problema és que, degut a la falta de dades, de les cinquanta-una estacions de mesurament que s'inclouen en l'anàlisi, només en quedaven nou per realitzar l'anàlisi clúster de tots els set contaminants a la vegada.

Davant d'això, s'ha optat per buscar què havien fet altres autors a la literatura; en un estudi, també portat a terme a Catalunya, existia el mateix problema de falta de dades (Rovira, et al., 2019). Paral·lelament, s'ha creat una gràfica de correlacions – *corrplot* – i una taula de correlacions (*Taula 4*) on queden reflectides les relacions entre cada un dels set contaminants. A la *Il·lustració 1* es pot veure la gràfica de correlacions.



Il·lustració 1: Corrplot dels 7 contaminants analitzats.

Font: Elaboració pròpia

	NO2	NO	O3	SO2	CO	NOX	PM10
NO2	1,00						
NO	0,83	1,00					
O3	-0,68	-0,89	1,00				
SO2	-0,37	-0,43	0,62	1,00			
CO	0,51	0,18	0,09	0,31	1,00		
NOX	0,94	0,97	-0,83	-0,42	0,33	1,00	
PM10	0,86	0,87	-0,72	-0,65	0,27	0,90	1,00

Taula 4: Correlacions entre els 7 contaminants analitzats

Font: Elaboració pròpia

Tenint en compte aquestes consideracions prèvies, s'han creat dos grups de contaminants per tal de desenvolupar l'anàlisi clúster.

- Grup de contaminants 1: NO<sub>2</sub>, NO i NO<sub>x</sub>

Aquests tres contaminants poden agrupar-se dins el grup d'Òxids de Nitrogen, fet pel qual les correlacions obtingudes entre ells són elevades. Per completar l'anterior gràfica de correlacions, s'ha creat una gràfica de tres dimensions – *scatterplot3d* – on es pot veure com les concentracions d'aquests tres contaminants segueixen un patró comú<sup>9</sup>.

A més, aquests tres contaminants tenen un elevat nombre de registres, fet pel qual es pot realitzar l'anàlisi clúster amb una mostra de 44 estacions de mesurament.

En aquest punt, cal dir que la correlació d'aquests contaminants amb PM<sub>10</sub> també és elevada, però s'ha decidit no incloure aquest últim en l'anàlisi clúster degut a la poca disponibilitat de les dades, doncs incloent PM<sub>10</sub> a l'anàlisi, es perden un 40% d'estacions de mesurament, passant de 44 a 26.

- Grup de contaminants 2: O<sub>3</sub> i SO<sub>2</sub>

Aquests dos contaminants presenten una relació positiva entre ells. S'ha pogut comprovar en la gràfica de correlacions citada anteriorment. A més, per completar-la, s'ha creat un *scatterplot* on es pot veure més precisament la distribució dels valors dels dos contaminants i la relació entre aquests<sup>10</sup>.

- Contaminant CO

No s'ha inclòs el contaminant Monòxid de Carboni a l'anàlisi clúster degut a la poca disponibilitat de les dades, ja que només es tenen registres en el 33% de les estacions de mesurament.

Una vegada s'han creat els diferents clústers pels *Grups 1 i 2* de contaminants, s'ha elaborat un *ggplot* utilitzant el software R, amb la finalitat de detectar si els clústers que s'han obtingut tenen algun comportament espacial determinat.

<sup>9</sup> Veure gràfica en tres dimensions a l'Apèndix A.7.

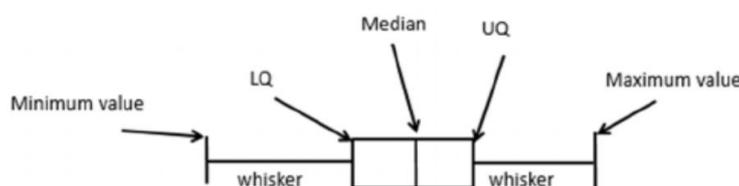
<sup>10</sup> Veure *scatterplot* a l'Apèndix A.8.

### *Relació dels nivells de contaminació amb les variables socioeconòmiques i climàtiques*

Una vegada s'han elaborat els clústers per a cada un dels dos grups de contaminants atmosfèrics, s'ha pogut procedir a analitzar la relació entre aquests i les variables socioeconòmiques i climàtiques utilitzades en el present treball.

Per tal de portar a terme aquesta anàlisi, s'ha utilitzat el diagrama de caixa i bigotis.

Un diagrama de caixa i bigotis, més conegut pel seu nom en anglès *boxplot*, és una metodologia de visualització d'un conjunt de dades, és a dir, és una tipologia de gràfic. A partir d'un *input*, és a dir, una base de dades inicial, el *boxplot* s'encarrega de dividir aquesta base de dades en quartils, distingint un valor mínim, la mediana i el valor màxim. Una vegada ha generat aquests valors, el *boxplot* els mostra tal com es pot veure a la següent imatge:



*Il·lustració 2: Diagrama de caixa i bigotis (Thirumalai, et al., 2017)*

Es pot observar una caixa, que agrupa els valors que van des del quartil inferior (LQ – *lower quartile* a la imatge) fins al quartil superior (UP – *upper quartile* a la imatge). La línia dibuixada a l'interior de la caixa és el valor de la mediana. Fora de la caixa es poden observar dues línies; la línia que surt del quartil superior s'anomena el bigoti superior, mentre que la línia que surt del quartil inferior s'anomena bigoti inferior. Aquests dos bigotis indiquen els valors mínims i màxims de la base de dades (Thirumalai, et al. 2017). Cal destacar que quan, en un diagrama de caixa i bigotis, es dibuixa un o més punts per sobre del valor màxim o per sota del valor mínim, significa que la base de dades compta amb observacions atípiques (*outliers*).

Així doncs, s'han utilitzat els comentats diagrames de caixa i bigotis per analitzar la relació entre el nivell de contaminació atmosfèrica a Catalunya i les variables socioeconòmiques i climàtiques incloses en el present treball, ja que són una tipologia de gràfiques molt visual de cara al lector. El procediment ha estat el mateix tant pel *Grup 1* de contaminants com pel *Grup 2*:

En primer lloc, ha estat necessari quantificar el nivell de contaminació de cada un dels clústers obtinguts; per fer-ho, s'han creat *diagrames de caixa i bigots (boxplots)* utilitzant les funcions de *ggplot* i *geom\_boxplot* que ofereix el software R.

Posteriorment, per tal de quantificar la importància de les variables socioeconòmiques i climàtiques en cada un dels clústers obtinguts, s'ha fet el mateix procediment, és a dir, s'han creat diagrames de caixa i bigotis per a cada una de les variables explicatives, utilitzant les mateixes funcions de R que s'han comentat a l'anterior paràgraf.

### 3. RESULTATS

Així com s'ha fet amb la metodologia, es presenten els resultats en dos seccions diferenciades, cadascuna d'elles fent referència a un dels dos objectius principals d'aquest treball.

#### 3.1 OBJECTIU 1: Estudiar l'evolució de la qualitat de l'aire de Catalunya

##### *Anàlisi numèric de l'evolució de la qualitat de l'aire*

En primer lloc, es presenten els diferents gràfics de línies que s'han elaborat per tal de representar l'evolució dels set contaminants estudiats des de l'any 2010 fins l'any 2019.



*Il·lustració 3: Evolució del nivell de concentració dels contaminants NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO i PM<sub>10</sub> a Catalunya des de l'any 2010 fins l'any 2019.*

*Font: Elaboració pròpia*

Tal com s'ha descrit a la metodologia, els gràfics lineals de l'evolució de la contaminació de Catalunya permeten veure com ha estat present cada un dels contaminants en les tres zones diferenciades del territori: Barcelona Ciutat (BCNC), Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) i la Resta de Catalunya (RCAT) – sempre tenint present que es fa referència a ciutats que tenien més de 20.000 habitants l'any 2019 -.

El Reial decret 102/2011, de 28 de gener, relatiu a la millora de la qualitat de l'aire fixa uns objectius de la qualitat de l'aire per a diferents contaminants. Alguns dels contaminants que s'analitzen en aquest apartat es troben també al Reial Decret, sovint s'hi fa referència.

És interessant destacar primerament els contaminants que tenen un comportament similar en el temps. En primer lloc, es pot observar com els nivells de Monòxid de Nitrogen (NO) i de Diòxid de Nitrogen (NO<sub>2</sub>), i com a conseqüència els nivells del grup de Òxids de Nitrogen (NO<sub>x</sub>), experimenten una disminució de la seva presència a l'aire de les ciutats. Bé és cert que aquesta disminució es va fent de forma gradual, es pot comprovar com hi ha alguns repunts de contaminació en anys específics, com ara en els anys 2011 i 2015; aquests pics es produeixen arreu del territori català, tot i que són més accentuats a la ciutat de Barcelona i més suaus a la Resta de Catalunya (RCAT). A més, es pot afirmar que la zona amb més presència d' Òxids de Nitrogen (incloent Monòxid de Nitrogen (NO) i Diòxid de Nitrogen (NO<sub>2</sub>)) és Barcelona Ciutat, seguida de les ciutats de l'Àrea Metropolitana de Barcelona; en última instància es troben les ciutats de la Resta de Catalunya. De totes maneres, tot i la tendència a la baixa, cal dir que el valor límit anual, fixat per Reial Decret a partir de l'1 de gener de l'any 2010, és de 40 µg/m<sup>3</sup> pel contaminant NO<sub>2</sub>, nivell que s'ha superat a la ciutat de Barcelona durant els anys 2010, 2011, 2012, 2015 i 2017, és a dir, en la meitat dels anys analitzats.

Seguidament és interessant observar el comportament del Material Particulat (PM<sub>10</sub>), (en aquest punt cal recordar que per portar a terme l'anàlisi clúster del present estudi s'han visualitzat les correlacions entre els contaminants, i s'ha vist com aquesta era elevada entre PM<sub>10</sub> i els tres contaminants citats a l'anterior paràgraf (NO<sub>x</sub>, NO i NO<sub>2</sub>)). Si s'observa la gràfica adjuntada, es pot veure com el comportament del contaminant és similar als anteriors casos: la tendència general és una disminució del nivell de partícules en suspensió al llarg dels deu anys, observant repunts en els anys 2011 i 2015. Ara bé, en aquest cas, tot i que RCAT segueix essent la zona amb un nivell de contaminació més baix, BCNC i AMB presenten concentracions de PM<sub>10</sub> molt similars en tots els anys. El Reial Decret 102/2011, de 28 de gener, estableix que, a partir de l'1 de gener de 2005, el valor límit anual de de partícules PM<sub>10</sub> és de 40 µg/m<sup>3</sup> fet que, atenent a les mitjanes del present estudi, no s'ha superat en cap dels deu anys estudiats en el territori de Catalunya.

El nivell de Monòxid de Carboni (CO) a l'aire ha estat força constant al llarg del període observat. En aquest cas, cal destacar l'elevat valor de concentració de CO a la ciutat de Barcelona respecte l'Àrea Metropolitana de Barcelona i la Resta de Catalunya.

L'evolució del nivell de Diòxid de Sofre (SO<sub>2</sub>) és molt més irregular que els anteriors contaminants. Primerament, Barcelona ciutat mostra un màxim de concentració del contaminant l'any 2011, originat per l'elevat nivell de contaminació registrat a l'estació de Barcelona - Eixample. A partir d'aquest punt, els nivells de SO<sub>2</sub> disminueixen al llarg

dels vuit anys següents. A l'Àrea Metropolitana de Barcelona s'observa un evolució contrària a la vista fins ara, doncs el nivell de SO<sub>2</sub> a l'aire ha augmentat al llarg del temps, especialment durant el 2018 i el 2019. El causant principal ha estat l'estació de Sant Vicenç dels Horts, on durant els dos anys citats s'hi han registrat valors mitjans anuals superiors a 8,74 µg/m<sup>3</sup>. Pel que fa als valors de la resta de Catalunya, aquests s'han mantingut constants al llarg dels deu anys.

El grau de concentració de l'Ozó Troposfèric (O<sub>3</sub>) difereix de les tendències vistes fins ara; les ciutats del grup Resta de Catalunya són les que presenten un valor en mitjana més elevat en nou dels deu anys analitzats. El nivell més elevat es va assolir l'any 2013, i cal destacar-ne les estacions de Amposta (63,59 µg/m<sup>3</sup>), Reus (63,00 µg/m<sup>3</sup>) i Mataró (62,50 µg/m<sup>3</sup>) per les seves elevades concentracions d'Ozó en aquest any concret. Per la seva banda, Barcelona ciutat i la resta de ciutats de l'Àrea Metropolitana de Barcelona presenten valors mitjans que es troben entre 40 µg/m<sup>3</sup> i 50 µg/m<sup>3</sup> en tots els deu anys estudiats, a excepció de l'any 2019, on Barcelona Ciutat té un increment important del nivell de concentració de l'Ozó Troposfèric, causat per l'elevat nivell registrat a l'estació de Barcelona – Observatori Fabra, assolint un nivell mitjà anual de 81,64 µg/m<sup>3</sup>.

#### *Anàlisi espacial de l'evolució de la contaminació a Catalunya: Mètode Kriging*

Una vegada s'ha vist l'evolució dels contaminants d'una manera més descriptiva, es pot passar a analitzar aquesta evolució mitjançant mapes. Ja s'ha avançat a l'apartat de *Metodologia* que el tipus de Kriging utilitzat ha variat depenent de les característiques de les dades de les quals es disposava. A més, cal afegir que s'han realitzat aquestes anàlisis pels contaminants NO (Monòxid de Nitrogen), NO<sub>2</sub> (Diòxid de Nitrogen), NO<sub>x</sub> (Òxids de Nitrogen), O<sub>3</sub> (Ozó Troposfèric) i SO<sub>2</sub> (Diòxid de Sofre). De totes maneres, els resultats obtinguts pel contaminant NO<sub>x</sub> no es mostren en aquest apartat, ja que el seu comportament és molt similar a NO<sub>2</sub> i NO, fet pel qual no aporten informació rellevant a l'estudi; per tant, s'ha optat per adjuntar-los a l'apèndix del treball <sup>11</sup>. En addició, no s'ha realitzat el Kriging pels deu anys que inclou l'estudi, sinó que per a cada contaminant s'ha fet Kriging pels anys 2010, 2015 i 2019, doncs són tres anys que permeten visualitzar l'evolució de la contaminació atmosfèrica correctament.

Per últim, cal dir que per arribar al resultat final que ofereix el Kriging, s'han fet tres passos essencials en tots i cada un dels contaminants:

- 1- Creació d'un *ggplot* de Catalunya on es mostren cada un dels punts de mesurament de qualitat de l'aire dels que es disposa, pintats seguint una escala de colors que indica si la contaminació atmosfèrica registrada al punt és elevada o baixa.
- 2- Creació d'un variograma experimental, en el qual s'hi aplica un model matemàtic per poder obtenir el variograma teòric (tal com s'ha explicat a la *Metodologia*).
- 3- Aplicació del model matemàtic al variograma experimental mitjançant Kriging (o Auto-Kriging), obtenint un mapa de calor de Catalunya que mostra el nivell de contaminació calculat per interpolació geoestadística arreu del territori. En aquest punt cal dir que, per tal de portar a terme el Kriging, s'ha dividit el territori

---

<sup>11</sup> Veure resultats obtinguts per NO<sub>x</sub> a l'Apèndix A.8.

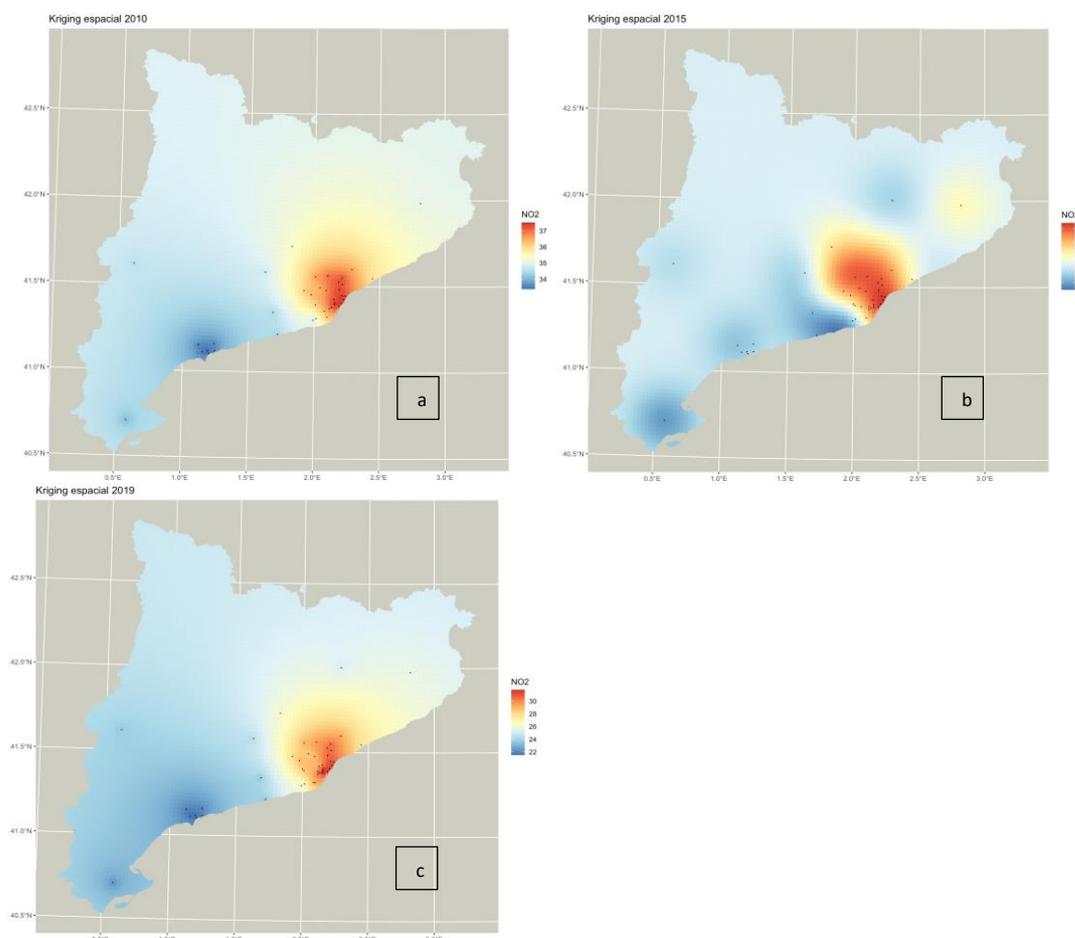
de Catalunya en cel·les de 6,25 quilòmetres quadrats ( $2,5 \text{ Km} \times 2,5 \text{ Km}$ ). Per tant, quan el software R ha realitzat el Kriging, ha assignat un valor (de la variable que s'estigui estudiant) a cada una de les caselles de  $6,25 \text{ Km}^2$  amb les quals s'ha dividit Catalunya.

Així doncs, es mostren els resultats obtinguts d'aplicar la metodologia Kriging <sup>12</sup>.

### Diòxid de Nitrogen (NO<sub>2</sub>)

Especificacions dels mapes de calor:

- Auto-Kriging; model *Ste* (*Matern, M. Stein's parameterization*); anys 2010, 2015, 2019.
- Unitat de mesura de NO<sub>2</sub>:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Il·lustració 4 (a-c): Mapes de calor obtinguts utilitzant Kriging pel contaminant NO<sub>2</sub>. Anys 2010, 2015 i 2019. Font: Elaboració pròpia.

La Il·lustració 4 mostra quina ha estat l'evolució del contaminant NO<sub>2</sub> a Catalunya, segons els resultats obtinguts utilitzant la metodologia Kriging. Com que és el primer conjunt de mapes que s'analiza, cal fer dos aclariments:

- Els quadrats petits que apareixen en el mapa són les cel·les de 6,25 quilòmetres quadrats amb les quals s'ha dividit Catalunya.

<sup>12</sup> Els resultats obtinguts d'aplicar els passos 1 i 2 es poden trobar a l'Apèndix A.9 (a,b,c,d).

- Els punts negres repartits arreu del mapa són les estacions de mesurament de qualitat de l'aire, en aquest cas de NO<sub>2</sub>, de les quals es tenien dades; per tant, són els punts a partir dels quals s'ha realitzat la interpolació geoestadística. Com es pot comprovar, la major part dels punts de mesurament de qualitat de l'aire es troben a la zona litoral i prelitoral de Catalunya, amb excepció d'algunes ciutats com Lleida, Manlleu o Girona. Així doncs, els resultats obtinguts per Kriging seran més fiables i representatius per aquelles zones més properes als punts de mesurament.

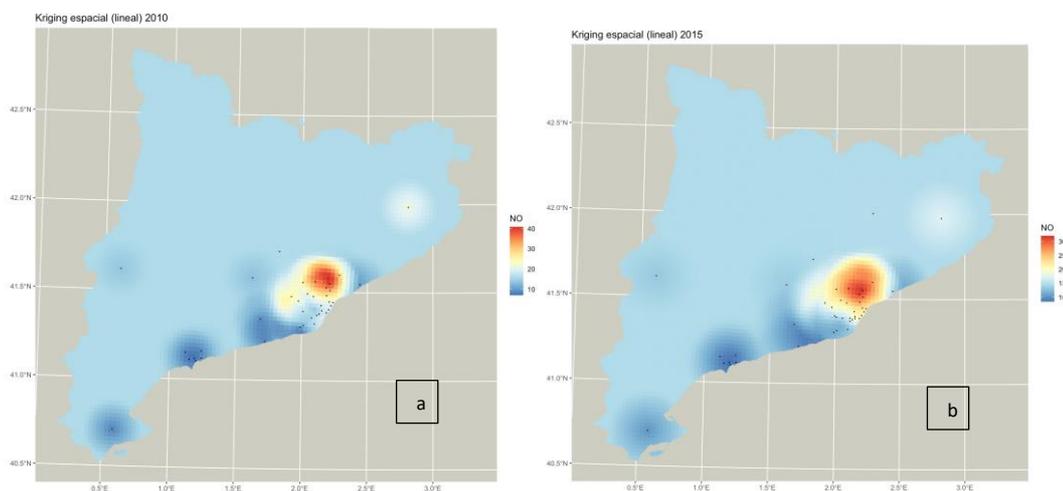
Dit això, a primer cop d'ull es pot veure com els nivells de concentració més elevats de Diòxid de Nitrogen (NO<sub>2</sub>) a Catalunya es troben a la ciutat de Barcelona i a l'Àrea Metropolitana de Barcelona, mentre que pel que fa a la resta de Catalunya són més baixos. Es pot destacar el punt de mesurament de la ciutat de Girona, que tot i estar allunyat de les zones més contaminades, també presenta valors de contaminació elevats. Aquesta tendència també s'ha pogut observar amb els gràfics de línies presentats a les pàgines anteriors.

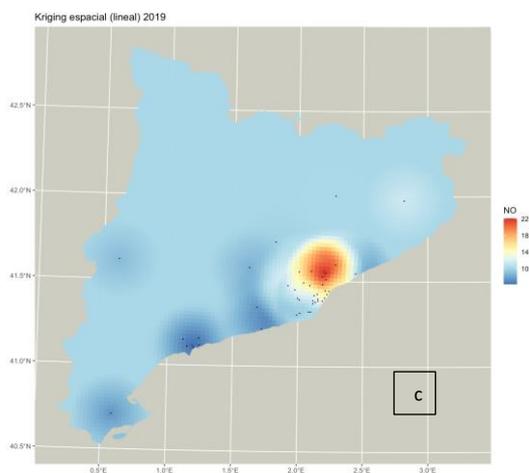
Per altra banda, tot i que les zones amb més i menys concentració de NO<sub>2</sub> a Catalunya es mantenen al llarg dels deu anys, també es pot observar una reducció d'aquestes concentracions; doncs si s'observen les llegendes de cada un dels gràfics, es pot veure com el color vermell cada vegada simbolitza un nivell d'emissions de NO<sub>2</sub> més reduït.

### Monòxid de Nitrogen (NO)

Especificacions dels mapes de calor:

- Kriging espacial; model *Lineal*; anys 2010, 2015 i 2019.
- Unitat de mesura de NO: µg/m<sup>3</sup>.





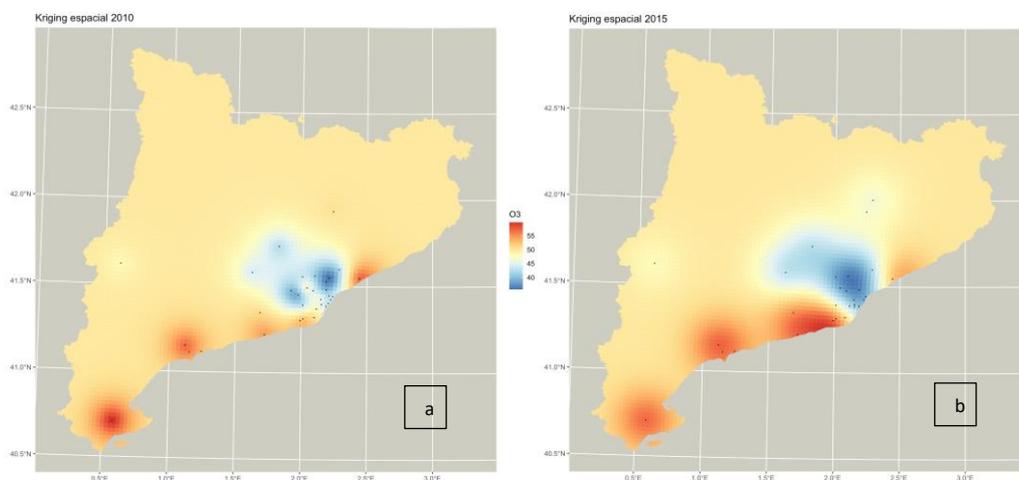
Il·lustració 5 (a-c): Mapes de calor obtinguts utilitzant Kriging pel contaminant NO. Anys 2010, 2015 i 2019.  
Font: Elaboració pròpia.

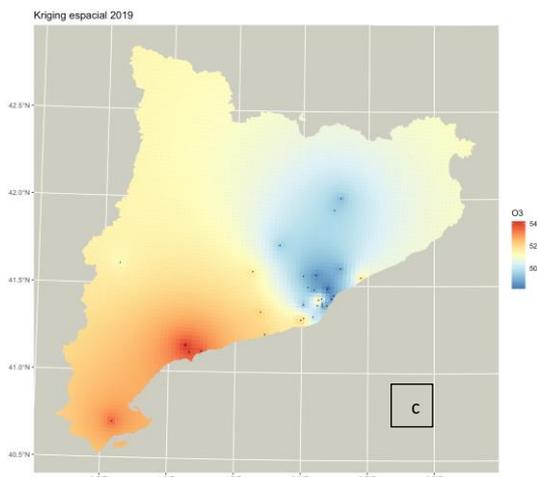
La Il·lustració 5 mostra el comportament espacial del Monòxid de Nitrogen (NO) a Catalunya, el qual és molt similar al del Diòxid de Nitrogen (NO<sub>2</sub>). Es pot observar com les elevades concentracions de NO es troben a la ciutat de Barcelona i a l'Àrea Metropolitana de Barcelona, mentre que altres zones del territori català, com per exemple tota la zona de depressió litoral i prelitoral (que va des del Garraf fins el Delta de l'Ebre), la zona de la ciutat de Lleida o bé la comarca d'Osona compten amb valors més reduïts de Monòxid de Nitrogen (NO). De la mateixa manera que amb el Diòxid de Nitrogen, les concentracions de Monòxid de Nitrogen han disminuït al llarg dels deu anys analitzats.

### Ozó Troposfèric (O<sub>3</sub>)

Especificacions dels mapes de calor:

- Auto-Kriging; model *Ste* (*Matern, M. Stein's parameterization*); anys 2010, 2015, 2019.
- Unitat de mesura de O<sub>3</sub>: µg/m<sup>3</sup>.





Il·lustració 6 (a-c): Mapes de calor obtinguts utilitzant Kriging pel contaminant  $O_3$ . Anys 2010, 2015 i 2019. Font: Elaboració pròpia.

La Il·lustració 6 mostra uns patrons oposats als que s'han observat amb els contaminants vistos fins ara.

D'entrada, es pot veure com en tots els tres anys mostrats, els nivells més baixos d'Ozó Troposfèric es troben a la ciutat de Barcelona i a l'Àrea Metropolitana. Ara bé, es pot veure com algunes de les zones de la Catalunya central, com ara les comarques d'Osona o el Bages, han disminuït les seves concentracions de  $O_3$  al llarg dels deu anys analitzats.

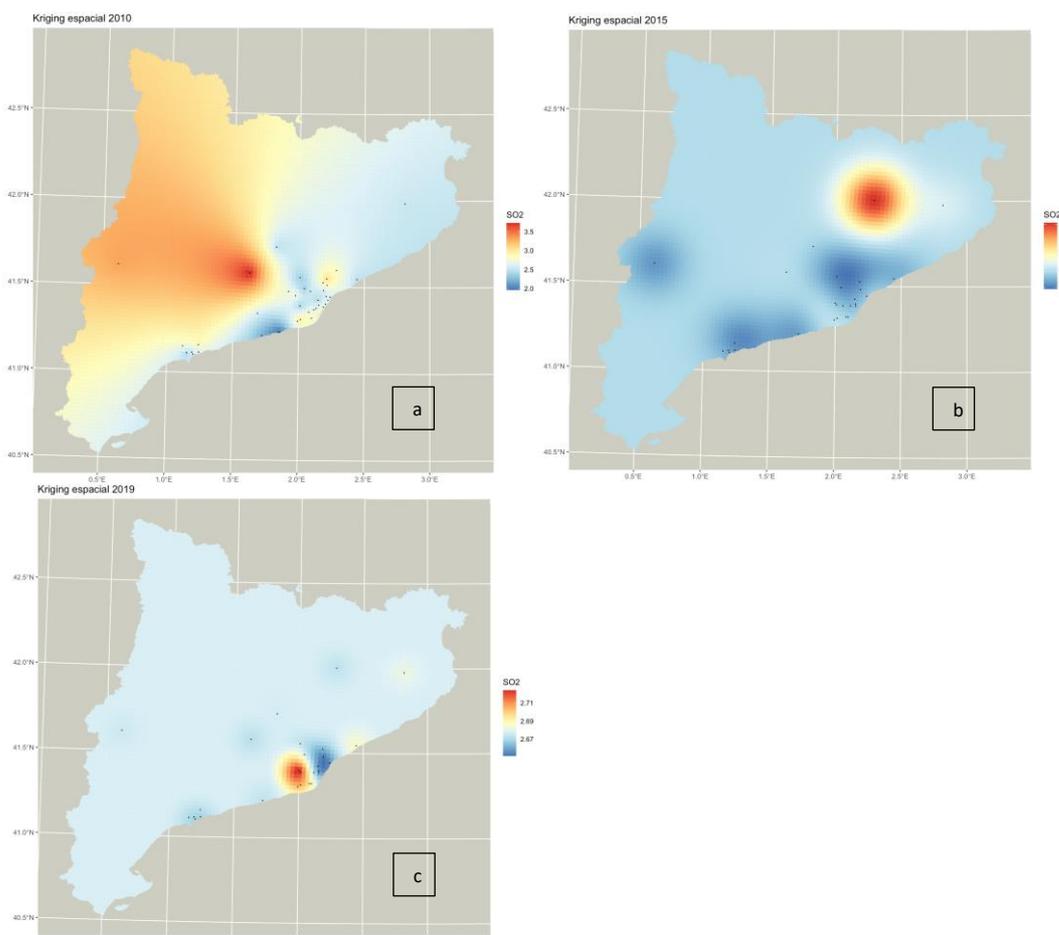
Les principals concentracions d'Ozó Troposfèric es troben als voltants de la ciutat de Mataró i a tota la zona de Depressió Litoral i Prelitoral. En addició, cal destacar un repunt del nivell d'Ozó Troposfèric a la ciutat de Barcelona l'any 2019, concretament el que es va registrar al punt de mesurament de Barcelona – Observatori Fabra, tal com també s'ha vist reflectit a les gràfiques de línies prèviament exposades.

La Il·lustració 6.c mostra un comportament de l'Ozó interessant. Com es pot veure, amb el pas dels anys, la contaminació de la ciutat de Barcelona i de l'Àrea Metropolitana s'ha anat estenent en direcció Nord fins arribar a Osona. Massagué et. al (2019) mostren en el seu estudi com un dels factors que influeix el nivell d'Ozó a Osona, i més concretament a la Plana de Vic, és el nivell de contaminació de l'Àrea Metropolitana de Barcelona; ja que la contaminació d'aquesta zona es va dispersant direcció Nord fins a influir en els nivells de contaminació de la Comarca d'Osona.

### Diòxid de Sofre ( $SO_2$ )

Especificacions dels mapes de calor:

- Auto-Kriging; model *Ste* (*Matern, M. Stein's parameterization*); anys 2010, 2015, 2019.
- Unitat de mesura de  $SO_2$ :  $\mu g/m^3$ .



Il·lustració 7 (a-c): Mapes de calor obtinguts utilitzant Kriging pel contaminant  $\text{SO}_2$ . Anys 2010, 2015 i 2019. Font: Elaboració pròpia.

El comportament del Diòxid de Sofre ( $\text{SO}_2$ ) ha estat molt diferent en els tres anys que mostren els mapes, fet que també s'havia començat a intuir a l'apartat anterior on s'han analitzat les gràfiques de línies. Veient els mapes de calor es pot dir que el comportament de  $\text{SO}_2$  no segueix cap patró comú al llarg dels deu anys d'estudi, sinó que es caracteritza per tenir repunts de contaminació en diverses zones del territori.

L'any 2010, el Diòxid de Sofre va presentar uns elevats valors a la ciutat de Igualada (l'Anoia); l'any 2015 les principals concentracions del contaminant es trobaven a la ciutat Manlleu (Osona); l'any 2019 va haver-hi un elevat nivell de Diòxid de Sofre a la ciutat de Sant Vicenç dels Horts (Baix Llobregat).

Per últim, tal com es pot veure en el mapa de l'any 2010 (Il·lustració 7,a), Catalunya queda dividida en dues grans zones (a *grosso modo*) pel que fa a la concentració de  $\text{SO}_2$ : la meitat Oest està pintada de colors vermells, simbolitzant valors elevats de contaminació de l'aire; mentre que la meitat Est està més coberta de color blau, simbolitzant uns nivells més baixos de contaminació atmosfèrica. Aquest fet es dona, sobretot pel que fa la meitat Oest de Catalunya, per la petita mostra de punts de mesurament de Diòxid de Sofre, doncs és el causant d'aquesta *distorsió* del mapa de calor.

Una vegada exposats tots els mapes de calor pels contaminants atmosfèrics corresponents, es pot afirmar que els patrons de comportament per a cada un d'aquests són diferents. Si bé és cert que el Monòxid de Nitrogen ( $\text{NO}$ ) i el Diòxid de Nitrogen

(NO<sub>2</sub>) presenten comportament similars pel fet de pertànyer al mateix “grup” d’Òxids de Nitrogen, l’Ozó Troposfèric (O<sub>3</sub>) i el Diòxid de Sofre (SO<sub>2</sub>) no presenten similituds tant clares.

### 3.2 OBJECTIU 2: Analitzar quines variables tenen influència real en la contaminació atmosfèrica de Catalunya

#### *Anàlisi Clúster*

Tenint present les consideracions prèvies explicades a la *Metodologia*, s’ha iniciat la pròpiament anàlisi clúster.

Per l’anàlisi clúster del *Grup 1* de contaminants, s’ha estudiat la proximitat de les estacions de mesurament de qualitat de l’aire en funció dels nivells de contaminació recollits. En tots els casos, per tal de mesurar les distàncies entre grups, s’ha utilitzat la distància *euclidiana*, ja que les variables amb les quals s’ha treballat són variables quantitatives (numèriques). A més, tots els clústers s’han realitzat utilitzant mètodes jeràrquics.

Un altra concepte important ha estat el mètode seleccionat per elaborar els clústers, doncs n’hi ha diversos. Pel present estudi, per tal de seleccionar el mètode més adient, s’han tingut en compte els mètodes *Centroid*, *Ward.D2*, *Complete* i *Average*, ja que es volia comprovar si els resultats que oferien cada un d’aquests diferien molt, o no, els uns dels altres.

Per altra banda, per seleccionar el nombre de clústers més adient per a cada un dels mètodes proposats, s’ha utilitzat el paquet de R *NbClust*. Aquesta funció permet determinar el nombre de clústers (*k*) més adient en funció d’un seguit de condicions exigides (tipus de distància utilitzada, mètode utilitzat, nombre mínim o màxim de clústers que es vol obtenir, entre d’altres).

Així doncs, per veure si els clústers varien molt els uns dels altres en funció del mètode utilitzat, s’han realitzat quatre gràfics de xarxes - *qgraphs* - (un per cada un dels quatre mètodes citats anteriorment) on es veuen representades les relacions entre cada una de les estacions de mesurament en funció del nivell de contaminació registrat. A més, aquests *qgraphs* s’han completat pintant cada una de les estacions d’un color diferent, en funció del clúster al qual corresponguin.

Una vegada s’han realitzat els gràfics de xarxes corresponents i s’ha observat les diferències entre clústers en funció del mètode utilitzat, s’ha elaborat un *dendrograma* on es poden visualitzar de forma esquemàtica i clara els diferents clústers generats.

Per l’anàlisi clúster del *Grup 2* de contaminants, s’han realitzat els mateixos procediments utilitzats pel *Grup 1*, però amb la diferència que no s’han generat els gràfics de xarxes, ja que només es tenen en compte dues variables (els contaminants O<sub>3</sub> i SO<sub>2</sub>). La relació de les estacions de mesurament que mesuren tots dos contaminants ja s’ha presentat anteriorment <sup>13</sup>.

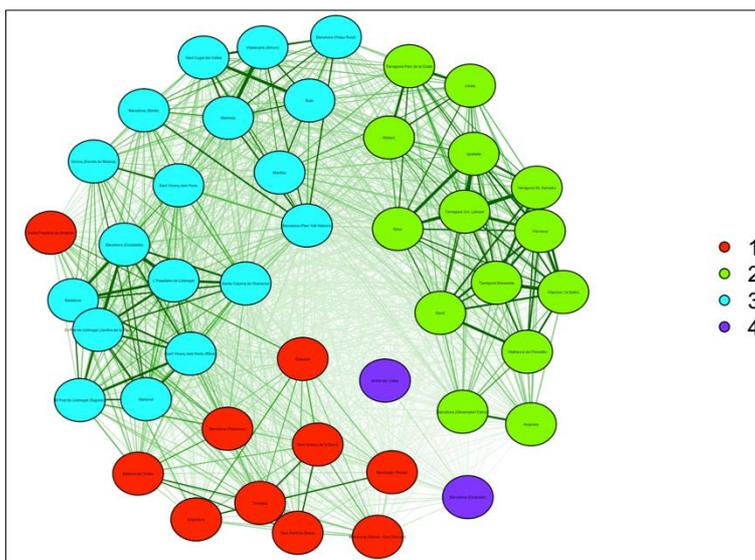
---

<sup>13</sup> Es pot consultar l’*Scatterplot* entre O<sub>3</sub> i SO<sub>2</sub> a l’Apèndix A.10.

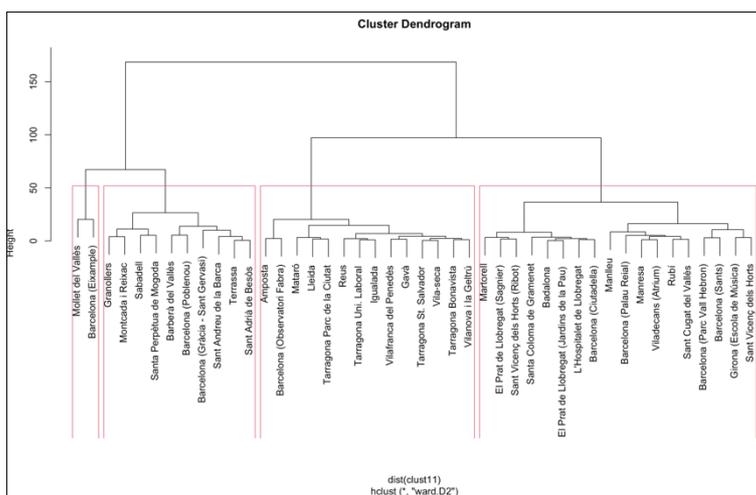
Una vegada creats els gràfics de xarxes i els dendrogrames pels dos grups de contaminants, s'ha estipulat el següent:

- Per determinar els clústers pel Grup 1 de contaminants ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$  i  $\text{NO}_x$ ) s'ha pres com a referència la distància euclidiana i el mètode *Ward.D2*, obtenint un total de 4 clústers <sup>14</sup>.
- Per determinar els clústers pel Grup 2 de contaminants ( $\text{O}_3$  i  $\text{SO}_2$ ) s'ha pres com a referència la distància euclidiana i el mètode *Centroid*, obtenint un total de 5 clústers <sup>15</sup>.

A continuació es mostren el gràfic de xarxes i el dendrograma dels clústers obtinguts pel Grup 1 de contaminants ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ).



Il·lustració 8: Gràfica de xarxes del Grup 1, mètode *Ward.D2* ( $k=4$ ). Font: Elaboració pròpia



Il·lustració 9: Dendrograma del Grup 1, mètode *Ward.D2* ( $k=4$ ). Font: Elaboració pròpia

<sup>14</sup> Consultar *qgraphs* i dendrogrames realitzats del Grup 1 pels mètodes *Centroid*, *Complete* i *Average* als Apèndixs A.11, A.12 i A.13 respectivament.

<sup>15</sup> Consultar dendrogrames realitzats del Grup 2 pels mètodes *Ward.D2*, *Complete* i *Average* als Apèndixs A.14, A.15 i A.16 respectivament.

Els punts de mesurament inclosos en cada un dels clústers del Grup 1 estan recollits a la *Taula 4*:

<b>Grup 1 de contaminants: NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub></b>	
<b>Clúster 1 (C1)</b>	<b>Clúster 2 (C2)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mollet del Vallès</li> <li>- Barcelona (Eixample)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Granollers</li> <li>- Montcada i Reixac</li> <li>- Sabadell</li> <li>- Santa Perpètua de Mogoda</li> <li>- Barberà del Vallès</li> <li>- Barcelona (Poblenou)</li> <li>- Barcelona (Gràcia – St. Gervasi)</li> <li>- Sant Andreu de la Barca</li> <li>- Terrassa</li> <li>- Sant Adrià de Besòs</li> </ul>
<b>Clúster 3 (C3)</b>	<b>Clúster 4 (C4)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amposta</li> <li>- Barcelona (Ob. Fabra)</li> <li>- Mataró</li> <li>- Lleida</li> <li>- Tarragona (Parc de la Ciutat)</li> <li>- Reus</li> <li>- Tarragona (Uni. Laboral)</li> <li>- Igualada</li> <li>- Vilafranca del Penedès</li> <li>- Gavà</li> <li>- Tarragona (St. Salvador)</li> <li>- Vila-seca</li> <li>- Tarragona (Bonavista)</li> <li>- Vilanova i la Geltrú</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Martorell</li> <li>- El Prat de Llobregat (Sagnier)</li> <li>- St. Vicenç dels Horts (Ribot)</li> <li>- Santa Coloma de Gramenet</li> <li>- Badalona</li> <li>- El Prat de Llobregat (Jardins de la Pau)</li> <li>- L'Hospitalet de Llobregat</li> <li>- Barcelona (Ciutadella)</li> <li>- Manlleu</li> <li>- Barcelona (Palau Reial)</li> <li>- Manresa</li> <li>- Viladecans (Artium)</li> <li>- Rubí</li> <li>- Sant Cugat del Vallès</li> <li>- Barcelona (Parc Vall Hebron)</li> <li>- Barcelona (Sants)</li> <li>- Girona (Escola de Música)</li> <li>- St. Vicenç dels Horts</li> </ul>

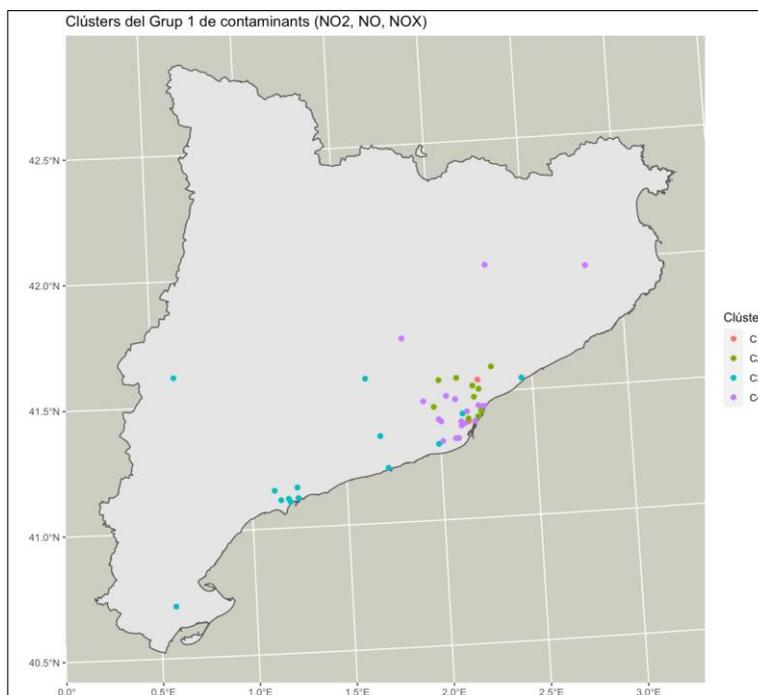
*Taula 5: Clústers formats a partir del Grup 1 de contaminants.  
Font: elaboració pròpia.*

La *Il·lustració 10* representa els clústers exposats a la *Taula 5* des d'una perspectiva espacial. Com es pot veure, sembla que hi ha algun patró espacial, tot i que no està gaire ben definit. En primer lloc, sembla que el patró espacial més ben definit és el del clúster C3, doncs agrupa la totalitat de punts de la meitat sud de Catalunya que es troben fora de la ciutat de Barcelona i de l'Àrea Metropolitana, amb l'excepció dels punts de *Barcelona – Observatori Fabra i Gavà*.

Per la seva banda, el clúster C2 agrupa els punts de mesurament de qualitat de l'aire de la ciutat de Barcelona i l'Àrea Metropolitana, sense sortir d'aquesta zona. Concretament, agrupa els punts de mesurament on s'han registrat valors més elevats de contaminació.

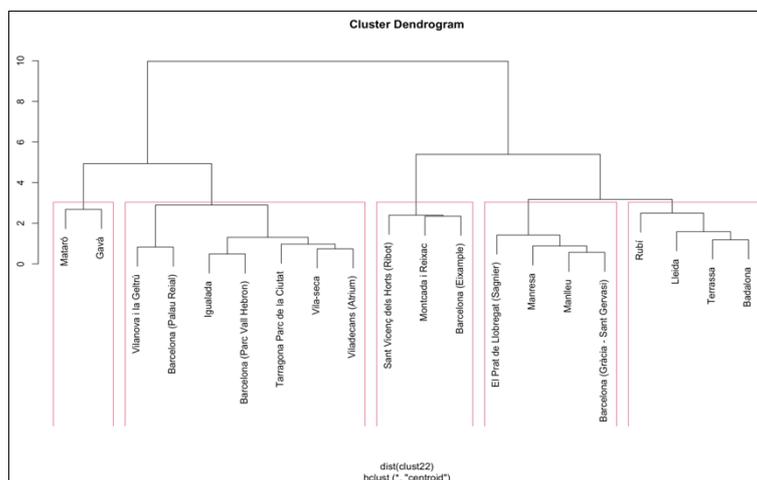
El clúster C4 també inclou punts de mesurament de la ciutat de Barcelona i l'Àrea Metropolitana de Barcelona, però aquest es dispersa més cap a la cara Nord del territori, agrupant els punts d'Osona o el Gironès, és a dir, unes zones amb un nivell de contaminació inferior a les del clúster C2.

Per últim, el clúster C1 està format per només dues observacions (*Mollet del Vallès i Barcelona – Eixample*), fet pel qual no generen cap patró espacial definit.



Il·lustració 10: Ggplot dels punts de mesurament de qualitat de l'aire dels clústers obtinguts del Grup 1 de contaminants. Font: Elaboració pròpia

A continuació es mostra el dendrograma dels clústers obtinguts pel Grup 2 de contaminants ( $O_3$ ,  $SO_2$ ).



Il·lustració 11: Dendrograma del Grup 2, mètode Centroid ( $k=5$ )

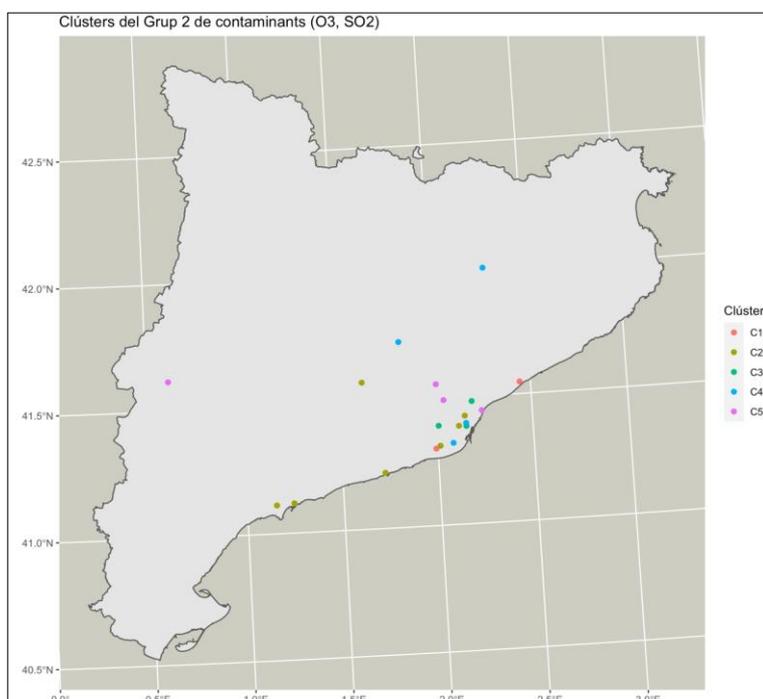
Font: Elaboració pròpia

Els punts de mesurament inclosos en cada un dels clústers del Grup 1 estan recollits a la Taula 6:

Grup 2 de contaminants: O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>	
Clúster 1 (C1)	Clúster 2 (C2)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mataró</li> <li>- Gavà</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vilanova i la Geltrú</li> <li>- Barcelona (Palau Reial)</li> <li>- Igualada</li> <li>- Barcelona (Parc Vall Hebron)</li> <li>- Tarragona (Parc de la Ciutat)</li> <li>- Vila-seca</li> <li>- Viladecans (Artium)</li> </ul>
Clúster 3 (C3)	Clúster 4 (C4)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- St. Vicenç dels Horts (Ribot)</li> <li>- Montcada i Reixac</li> <li>- Barcelona (Eixample)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Prat de Llobregat (Sagnier)</li> <li>- Manresa</li> <li>- Manlleu</li> <li>- Barcelona (Gràcia – St. Gervasi)</li> </ul>
Clúster 5 (C5)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rubí</li> <li>- Lleida</li> <li>- Terrassa</li> <li>- Badalona</li> </ul>	

Taula 6: Clústers formats a partir del Grup 1 de contaminants. Font: Elaboració pròpia

La *Il·lustració 12* representa els clústers exposats a la *Taula 6* des d'una perspectiva espacial. Com es pot veure, sembla que hi ha algun patró espacial, tot i que no està gaire ben definit. A diferència del que s'ha pogut observar a la *Il·lustració 10*, el Grup 2 de contaminants no mostra cap patró espacial específic.

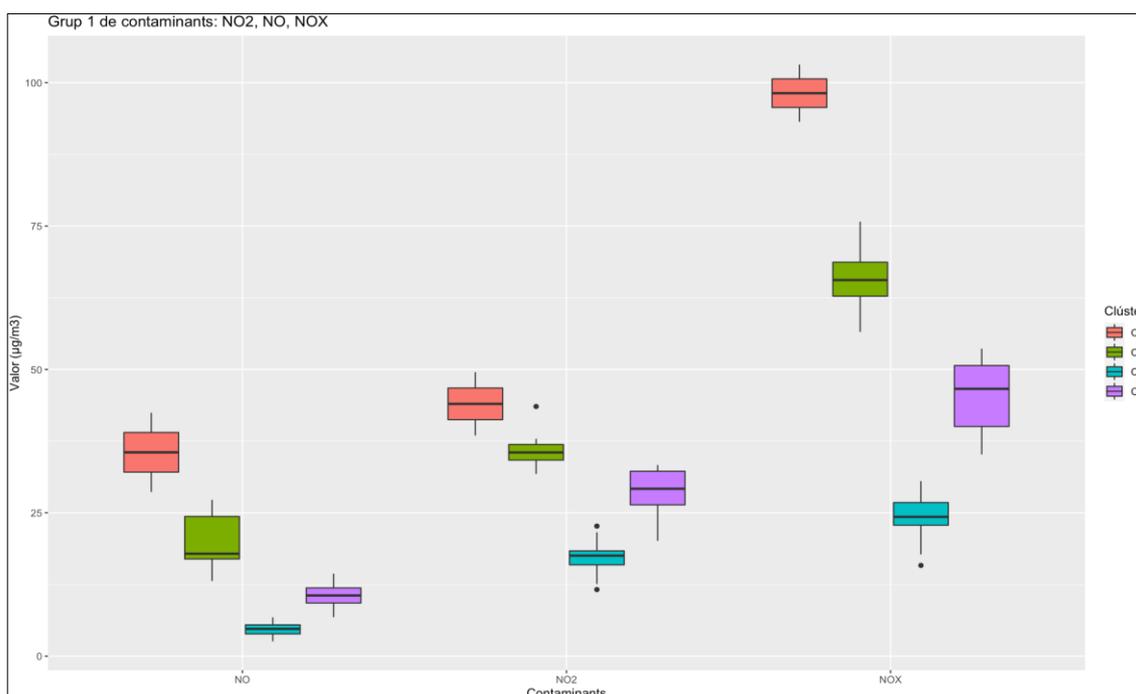


*Il·lustració 12*: Ggplot dels punts de mesurament de qualitat de l'aire pels clústers obtinguts del Grup 2 de contaminants. Font: Elaboració pròpia

*Relació dels nivells de contaminació amb les variables socioeconòmiques i climàtiques*

Seguint el que s'ha presentat anteriorment a l'apartat de Metodologia, s'ha procedit a elaborar els diferents diagrames de caixa i bigotis per a cada un dels dos grups de contaminants. Els resultats es mostren a continuació.

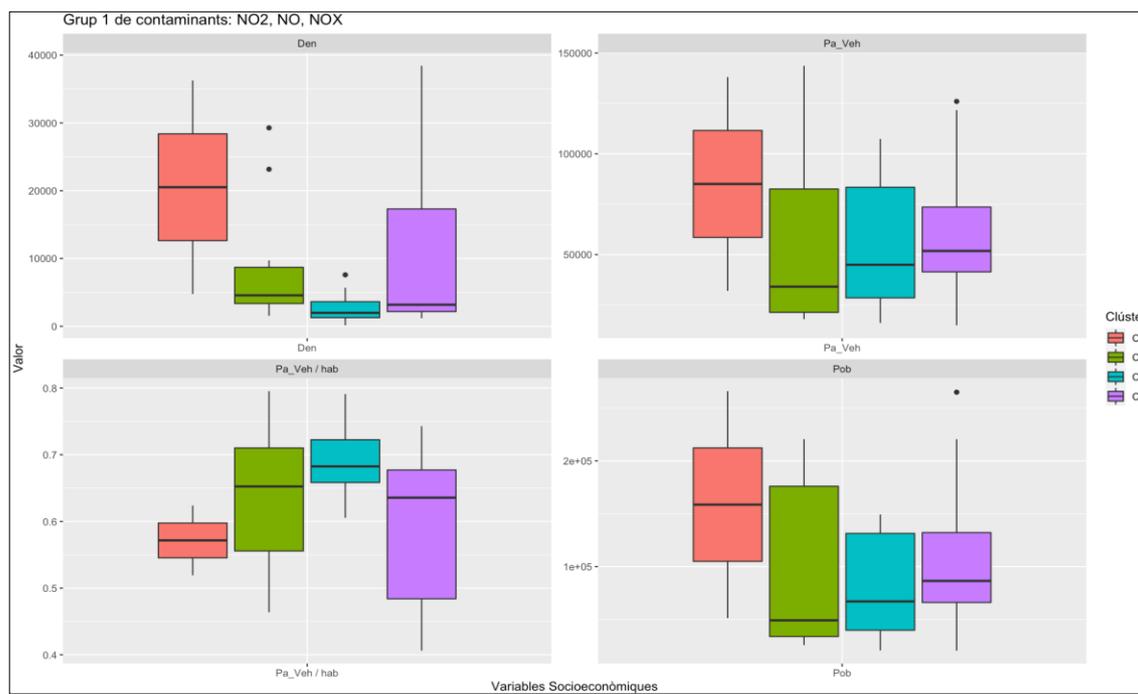
Grup 1 de contaminants: NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>



*Il·lustració 13: Nivell de contaminació del Grup 1 de contaminants per a cada un dels clústers resultants.  
Font: Elaboració pròpia*

A la *Il·lustració 13* es poden veure els nivells de contaminació de cada un dels clústers. D'aquest boxplot és interessant destacar que, pel que fa als contaminants NO, NO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>, el clúster 1 (C1) és el que registre uns valors de contaminació més elevats, i aquests valors van disminuint progressivament fins a arribar al clúster 4 (C4), el qual és el que presenta menys concentracions de pol·lució. Per tant, la contaminació dels clústers va disminuint, essent C1 el clúster amb més contaminació atmosfèrica i el C4 el clúster amb menys contaminació atmosfèrica.

El fet que els tres contaminants presentats a la *Il·lustració 7* segueixin el mateix comportament (és a dir, que el clúster amb més concentració de NO sigui el mateix clúster que té la màxima concentració de NO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>) concorda amb la teoria prèviament explicada, doncs tal com s'ha explicat a la presentació del treball i també s'ha pogut veure posteriorment, tant NO com NO<sub>2</sub> formen part del grup d'Òxids de Nitrogen (NO<sub>x</sub>).



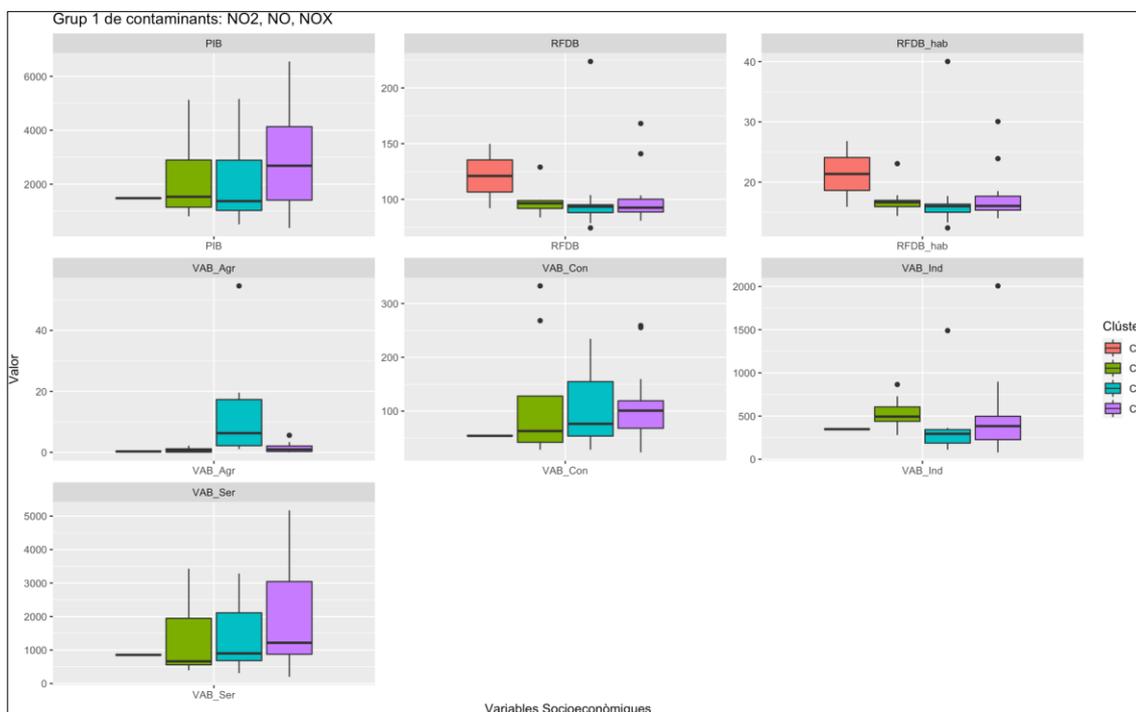
Il·lustració 14: Variables socioeconòmiques *Den*, *Pob*, *Pa\_Veh* i *Pa\_Veh/hab* per habitant dels clústers del Grup 1 de contaminants. Font: Elaboració pròpia

La Il·lustració 14 mostra les variables socioeconòmiques que tenen una part més social, doncs agrupa la densitat de població (*Den*), la mida de la població (*Pob*), el parc de vehicles (*Pa\_Veh*) i el mateix parc de vehicles per habitant (*Pa\_Veh/hab*) de cada un dels clústers.

En primer lloc, es pot veure com el clúster 1 (C1) és el que presenta valors més elevats de densitat de població, mida de la població i parc de vehicles; paral·lelament, el mateix C1 també ha estat el clúster amb uns valors de contaminació més elevats pel que fa al Grup de contaminants 1. Per tant, el nivell de concentració d'Òxids de Nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) així com els dels seus derivats ( $\text{NO}_2$  i  $\text{NO}$ ) estan relacionats positivament amb la densitat de població, la mida de la població i el nombre de vehicles en circulació. Aquest resultat és rellevant, ja que explica alguns dels factors causants de les emissions d'Òxids de Nitrogen a l'atmosfera. A la literatura prèvia, també hi ha hagut autors que han arribat a resultats similars a través dels seus estudis. Per exemple, Liu, et al. (2018) en el seu estudi sobre els efectes dels factors socioeconòmics, climàtics i urbans a la contaminació de l'aire conclouen que els factors socials com ara la mida de la població o bé la densitat estant correlacionades positivament amb les emissions de  $\text{NO}_x$ . Per la seva banda, Xu, et al. (2019) defensen que el volum de vehicles és un factor que influeix significativament a la contaminació de l'aire, és a dir, tal com s'ha vist en aquest estudi, el volum del parc de vehicles està directa i positivament relacionat amb la contaminació atmosfèrica d'una determinada zona.

Per altra banda, és interessant destacar la baixa densitat de població del C3 respecte la resta de clústers. Tal com s'ha vist prèviament, el C3 està format per ciutats que es troben, la gran majoria, al grup Resta de Catalunya (RCAT), és a dir, fora de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB). Per tant, es pot corroborar que les ciutats de la resta de Catalunya presenten densitats de població generalment inferiors a les que presenten les ciutats de l'Àrea Metropolitana de Barcelona i Barcelona ciutat. En addició, aquest fet està lligat amb què el mateix C3 sigui el clúster que presenta els valors més elevats

de  $Pa\_Veh / hab$ , doncs quan es relativitza la grandària del parc de vehicles d'una ciutat al nombre d'habitants d'aquesta, es pot veure com aquelles ciutats amb densitats de població més baixes i fora de l'AMB compten amb més vehicles per persona.



Il·lustració 15: Variables socioeconòmiques PIB, RFDB, RFDB/hab, VAB\_Agr, VAB\_Con, VAB\_Ind, VAB\_Ser dels clústers del Grup 1 de contaminants.

La Il·lustració 15 mostra la segona part de les variables socioeconòmiques, concretament les que presenten una basant més purament econòmica. Abans de comentar els resultats, cal recordar que les variables que representen el Producte Interior Brut (PIB) i el Valor Afegit Brut per sectors (*VAB\_Agr*, *VAB\_Con*, *VAB\_Ind* i *VAB\_Ser*) no inclouen els valors de la ciutat de Barcelona, doncs ja s'ha comentat a la presentació de les dades que el fet d'haver de dividir la ciutat en districtes ha comportat que no es pugui disposar de les dades.

Passant a l'anàlisi dels resultats obtinguts, d'entrada es pot veure un resultat sorprenent pel que fa a la variable PIB, doncs el clúster C4, que cal recordar que és el que compta uns nivells de contaminació més reduïts, és el que presenta uns valors PIB per ciutat més elevats. Aquest resultat difereix del que s'ha trobat a la literatura prèvia, doncs en el seu estudi, Yalcin, et al. (2021) defensen que un augment del PIB comporta un augment de la contaminació atmosfèrica. Dit això, cal comentar que el fet de no haver inclòs la ciutat de Barcelona a la variable PIB pot haver distorsionat els resultats, ja que el PIB de Barcelona representa el 48% del PIB total de les ciutats incloses en el present estudi.

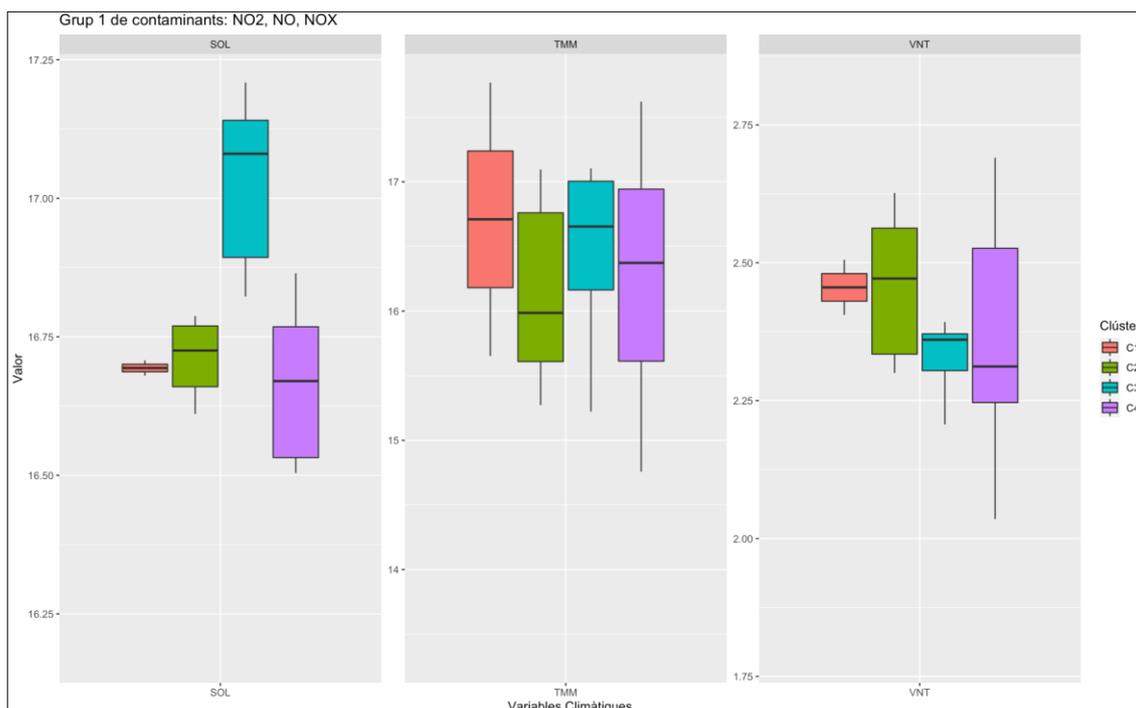
Pel que fa a les variables de Renda Familiar Disponible Bruta (*RFDB*) (Índex Catalunya = 100) i la *RFDB* per habitant (*RFDB\_hab*), el clúster C1 és el que presenta uns valors més elevats en tots dos casos. Bé és cert que els altres clústers compten amb observacions atípiques que, en algun cas, tenen valors més elevats que el propi C1. Però bé, tot i aquests *outliers*, es pot destacar que el clúster que compta amb una *RFDB* i *RFDB\_hab*

generalment més alta, també és el que compta amb un nivell de contaminació més alt. Per tant, el nivell de renda familiar disponible és una variable que està relacionada positivament amb el nivell de concentració de NO<sub>2</sub>, NO i NO<sub>x</sub> a l'atmosfera. A la literatura prèvia també s'ha trobat aquesta relació; per exemple, Xu, et al., (2019) mostren com el desenvolupament econòmic (mesurat a través de variables com el PIB per càpita) influeix en els nivells de contaminació atmosfèrica.

Per la seva banda, el Valor Afegit Brut del sector de l'Agricultura (*VAB\_Agr*) i el Valor Afegit Brut del sector de la construcció (*VAB\_Con*) no han estat relacionats amb el nivell de contaminació atmosfèrica en els articles que s'han consultat de la literatura prèvia. En aquest estudi tampoc s'ha obtingut cap relació evident. De totes maneres, es vol destacar l'elevat valor del clúster C3 pel que fa al *VAB\_Agr*, ja que aquest concentra el 84% del total Valor Afegit Brut del sector agrícola. A més, coincideix que el clúster C3 està format, majoritàriament, per ciutats de la Resta de Catalunya (RCAT), és a dir, fora de l'Àrea Metropolitana de Barcelona i fora de Barcelona ciutat.

Una variable econòmica habitualment lligada a la contaminació de l'aire és el Valor Afegit Brut del sector industrial (*VAB\_Ind*). En aquest estudi, es pot veure com el clúster C2 és el que presenta uns nivells de *VAB\_Ind* més elevats. Tenint en compte que la ciutat de Barcelona no està inclosa en aquesta variable i que el C2 és el segon clúster amb una contaminació més elevada, es pot afirmar que el pes del sector industrial influeix en el nivell de contaminació atmosfèrica d'una determinada zona. Tot i que no és una relació tant clara com algunes que s'han comentat prèviament, cal tenir-la present, ja que diversos estudis de la literatura demostren la influència positiva entre el Valor Afegit Brut del sector industrial i el nivell de pol·lució de l'aire (Xu, et al., 2018; Ren & Matsumoto, 2020).

Per últim, es pot observar com el Valor Afegit Brut del sector serveis (*VAB\_Ser*) ha augmentat progressivament a mesura que s'ha passat del clúster C1 al C4, essent aquest últim el que compta amb uns valors més elevats. Per tant, és interessant destacar que el clúster amb un nivell de contaminació de NO<sub>2</sub>, NO i NO<sub>x</sub> més baix (C4) és el que compta amb un *VAB\_Ser* més elevat, fet pel qual es pot considerar que la relació entre aquestes dues variables és inversa. Aquest fet també ha estat trobat per Hao, et al. (2019), on defensen que la concentració de contaminants atmosfèrics disminueix amb un augment de la indústria terciària, és a dir, del sector serveis.



Il·lustració 16: Variables Climàtiques SOL, TMM i VNT dels clústers del Grup 1 de contaminants.

La *Il·lustració 16* mostra com es comporten les variables climàtiques SOL (irradiació solar), TMM (temperatura mitjana anual) i VNT (velocitat mitjana del vent a 10 metres) amb els clústers del *Grup 1* de contaminants.

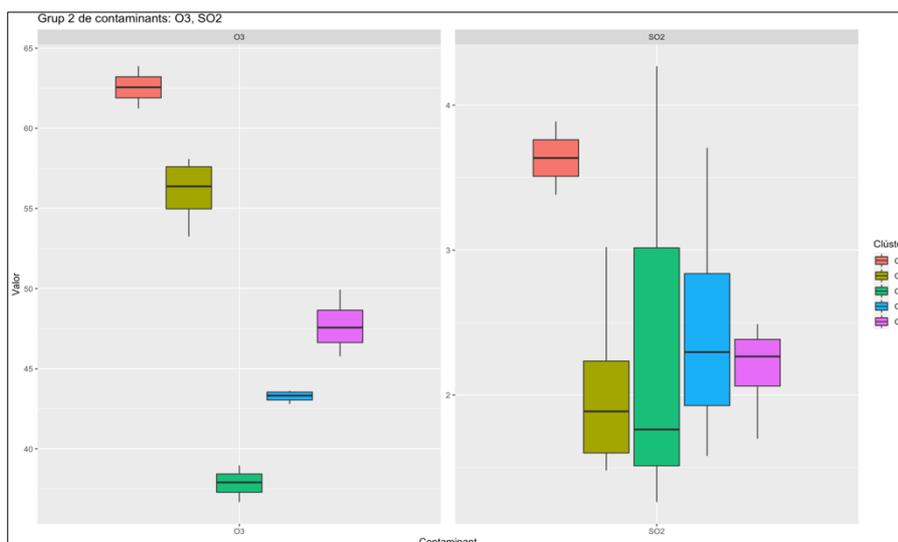
Dels resultats obtinguts es pot destacar l'elevat grau de irradiació solar que presenta el clúster C3, molt diferent del que han obtingut la resta de clústers.

Per la seva banda, es pot veure com els valors més elevats de temperatura es troben al clúster C1, que també coincideix amb el clúster amb un nivell més alt de contaminació atmosfèrica. De totes maneres, la temperatura mitjana anual ha estat molt similar en tots quatre clústers, fet que no permet extreure conclusions exactes.

Per últim, la variable VNT tampoc s'ha pogut relacionar amb els nivells de concentració de NO<sub>2</sub>, NO, i NO<sub>x</sub>.

Així doncs, no s'han obtingut resultats rellevants que puguin relacionar els nivells de contaminació de NO<sub>2</sub>, NO i NO<sub>x</sub> amb les variables climàtiques estudiades.

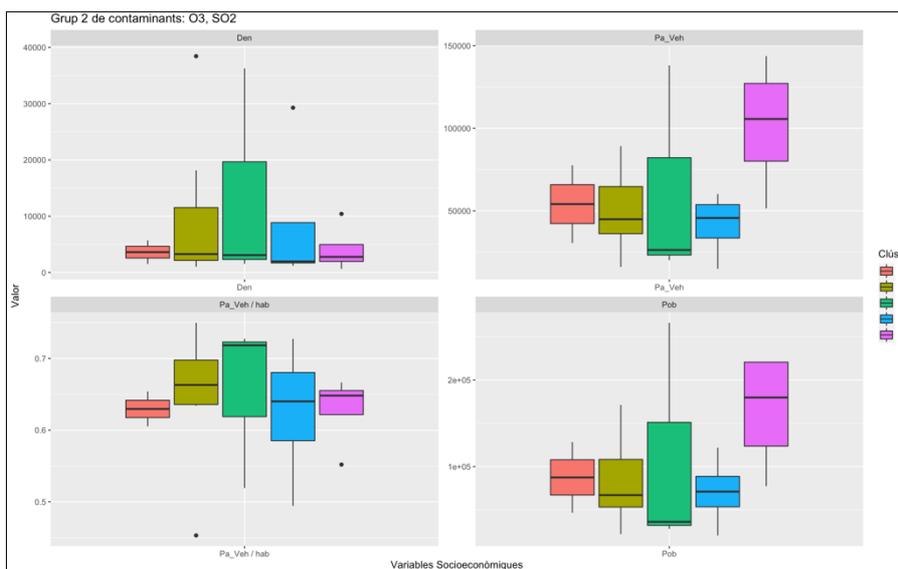
## Grup 2 de contaminants: O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>



Il·lustració 17: Nivell de contaminació del Grup 2 de contaminants per a cada un dels clústers resultants.

La Il·lustració 17 mostra els nivells de contaminació atmosfèrica pels clústers originats pel Grup 2 de contaminants, format per O<sub>3</sub> i SO<sub>2</sub>. Cal recordar que els clústers del Grup 1 de contaminants són diferents a els clústers del Grup 2, els quals s'expliquen a continuació.

Així com en el Grup 1 es podia veure un patró comú, els contaminants inclosos en el Grup 2 no mostren un patró clar. L'únic punt que tenen en comú és que el clúster 1 (C1) és el que presenta valors més alts de contaminació tant per O<sub>3</sub> (Ozó Troposfèric) com per SO<sub>2</sub> (Diòxid de Sofre). Per una banda, per l'Ozó Troposfèric queda reflectit que cada un dels clústers en presenta nivells molt diferents, essent el C3 el clúster amb un nivell més baix; per altra banda, amb el Diòxid de Sofre no passa el mateix, doncs deixant de banda el clúster C1, la resta de clústers presenten valors molt similars.



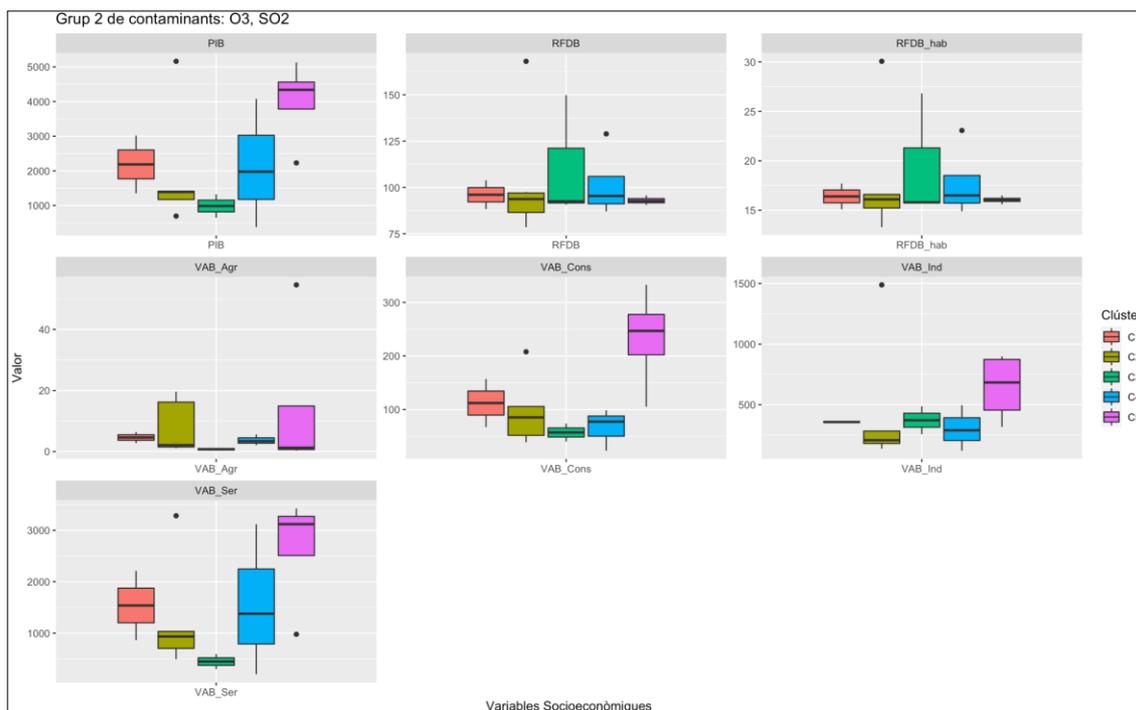
Il·lustració 18: Variables socioeconòmiques Den, Pob, Pa\_Veh i Pa\_Veh / hab per habitant dels clústers del Grup 2 de contaminants.

Les variables socioeconòmiques dels clústers obtinguts del *Grup 2* de contaminants (que presenten una basant més social) estan agrupades a la *Il·lustració 18*.

Com s'ha comentat a l'anterior paràgraf, els valors obtinguts pel contaminant SO<sub>2</sub> en tots els cinc clústers són força homogenis. Aquest fet ha comportat que moltes variables socioeconòmiques també presentin valors similars, com és el cas de la densitat de població (*Den*). Per la seva banda, les variables *Pa\_Veh* i *Pob* també compten amb valors similars pel que fa als clústers C1, C2, C3 i C4. De totes maneres, encara que la distància entre el primer i el tercer quartil sigui molt gran en el clúster C3, en aquest també es pot veure com, tant pel que fa a la variable *Pa\_Veh* com a la variable *Pob*, la mediana és la més baixa de tots els cinc clústers. Per tant, encaixa amb el que s'ha vist en la il·lustració anterior, ja que precisament el clúster C3 és el que presenta valors més baixos de Ozó Troposfèric (i pràcticament els més baixos de Diòxid de Sofre). Aquest fet ha estat corroborat en la literatura per diversos autors, havent-ne citats alguns d'ells en pàgines anteriors (Liu, et al., 2018; Xu, et al., 2019).

Ara bé, es pot veure el clúster C5 presenta valors molt més elevats que la resta per les dues variables comentades. De totes maneres, no es pot extreure una conclusió rellevant d'aquest fet, ja que el clúster C5 presentava valors de contaminació intermedis.

La variable *Pa\_Veh / hab* ofereix un resultat contrari a l'explicat anteriorment, doncs el clúster C3, que presenta els nivells de contaminació més baixos, mostra uns valors de parc de vehicles per habitant elevats.



*Il·lustració 19: Variables socioeconòmiques PIB, RFDB, RFDB/hab, VAB\_Agr, VAB\_Con, VAB\_Ind, VAB\_Ser dels clústers del Grup 2 de contaminants.*

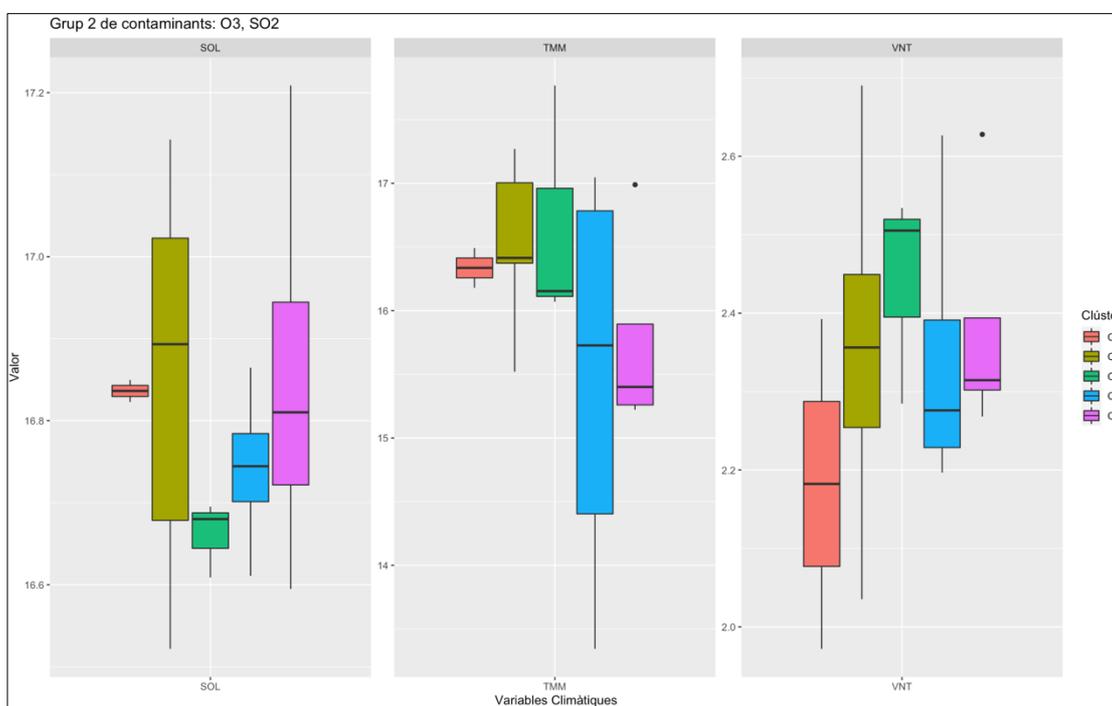
La *Il·lustració 19* agrupa la segona part de les variables socioeconòmiques, concretament aquelles amb un fort component econòmic, i no pas tant social.

Abans de comentar els resultats, cal recordar que les variables que representen el Producte Interior Brut (PIB) i el Valor Afegit Brut per sectors (*VAB\_Agr*, *VAB\_Con*, *VAB\_Ind* i *VAB\_Ser*) no inclouen els valors de la ciutat de Barcelona, doncs ja s'ha

comentat a la presentació de les dades que el fet d'haver de dividir la ciutat en districtes ha comportat que no es pugui disposar de les dades.

Amb un primer cop d'ull, es pot veure clarament com el clúster C5 és el que presenta els valors més elevats de les variables *PIB*, *VAB\_Agr* (aquest juntament amb el clúster C2), *VAB\_Cons*, *VAB\_Ind* i *VAB\_Ser*. Ara bé, tal com s'ha comentat anteriorment, aquest fet no es pot relacionar directament amb la incidència de les variables sobre la contaminació atmosfèrica, doncs el clúster C5 no està ni entre els valors més elevats ni els valors més baixos dels contaminants del *Grup 2*.

Les variables *RFDB* i *RFDB\_hab* contradiuen el que s'ha exposat en pàgines anteriors, doncs el clúster C3, tot i presentar els valors més baixos d'O<sub>3</sub> i uns dels més baixos de SO<sub>2</sub>, compta amb algunes de les rendes familiars disponibles més elevades. Aquest fet contradiu els resultats obtinguts en el *Grup 1* de contaminants. Un dels motius podria ser la reduïda mostra de ciutats que formen el *Grup 2* de contaminants, doncs és un fet que pot estar distorsionant les dades.



Il·lustració 20: Variables Climàtiques SOL, TMM i VNT dels clústers del Grup 2 de contaminants.

La *Il·lustració 20* mostra com es comporten les variables climàtiques *SOL* (irradiació solar), *TMM* (temperatura mitjana anual) i *VNT* (velocitat mitjana del vent a 10 metres) amb els clústers del *Grup 2* de contaminants.

Pel que fa a la variable *SOL* (irradiació solar) el valor més baix es troba en el clúster C3, que és el que presenta un nivell de concentració d'Ozó Troposfèric més baix i un nivell de Diòxid de Sofre baix. Aquest resultat difereix del que s'ha pogut consultar a la literatura. Aquesta contradicció es podria donar, una vegada més, per la reduïda mostra de ciutats que formen el *Grup 2* de contaminants.

Els resultats obtinguts amb la variable *TMM* són força similars entre sí. Ara bé, es pot destacar el fet que els clústers C1 i C2 són els que presenten una mediana de valors de temperatura més elevada i, paral·lelament, són els dos clústers que presenten un nivell d'Ozó Troposfèric més elevat. Aquest resultat també ha estat trobat per altres autors a la literatura.

## 4. CONCLUSIONS

En aquest estudi s'ha portat a terme una anàlisi de l'evolució de la contaminació atmosfèrica a Catalunya, a partir d'una basant numèrica i una basant espacial; en addició, s'ha investigat quins són els factors socioeconòmics i climàtics condicionants d'aquesta contaminació atmosfèrica. Els resultats mostren una tendència a la baixa pel que fa als nivells de concentració de la majoria dels contaminants estudiats ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{CO}$ ); El cas de  $\text{O}_3$  i  $\text{SO}_2$  és diferent, ja que els seus nivells s'han mantingut constants i en alguns casos han augmentat l'any 2019 respecte l'any 2010. Per altra banda, s'ha pogut veure com la principal zona de contaminació de l'aire pel que fa a  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$  és la ciutat de Barcelona i l'Àrea Metropolitana de Barcelona, mentre que la resta de Catalunya està generalment menys contaminada. L'Ozó Troposfèric té un comportament espacial oposat als Òxids de Nitrogen (incloent Monòxid de Nitrogen i Diòxid de Nitrogen), ja que la ciutat de Barcelona i l'Àrea Metropolitana d'aquesta són les zones amb uns valors d'Ozó inferiors, mentre que els valors observats a la resta de Catalunya (Depressió Litoral i Prelitoral des del Garraf al Delta de l'Ebre, ciutat de Lleida o bé Osona) presenten uns valors superiors. Pel que fa  $\text{SO}_2$ , no hi ha un patró espacial definit, doncs s'han observat diferents zones amb un alt grau de concentració d'aquest contaminant al llarg dels anys analitzats.

Per altra banda, s'han portat a terme dues anàlisis clúster amb la finalitat de detectar patrons de comportament de contaminació similars pel que fa als punts de mesurament de qualitat de l'aire estudiats. També s'ha analitzat el comportament espacial d'aquests clústers, obtenint que la primera anàlisi clúster, incloent els contaminants  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$  i  $\text{NO}_x$ , ha deixat entreveure un patró espacial; mentre que la segona anàlisi clúster, que inclou els contaminants  $\text{O}_3$  i  $\text{SO}_2$ , no ha mostrat cap patró espacial.

A més, l'elaboració dels clústers ha permès estudiar la relació entre les variables socioeconòmiques i climàtiques i la contaminació atmosfèrica, a través de la utilització de diagrames de caixa i bigotis. L'anàlisi ha demostrat que la densitat de població, la mida de la població, el parc de vehicles d'una determinada zona i el nivell de Renda Familiar Disponible comporten un augment dels nivells de contaminació de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$  i  $\text{NO}_x$ . Altres autors de la literatura també han arribat a aquests resultats (Xu, et al., 2019). Per contra, l'augment del sector terciari en un determinat territori té un efecte positiu sobre la qualitat de l'aire, atenent-se als contaminants citats anteriorment; Hao, et al. (2019) també han pogut destacar aquest resultat en el seu treball.

Els resultats d'aquest estudi han permès augmentar el coneixement de la contaminació atmosfèrica a Catalunya, a més de la relació que hi ha entre aquesta i les variables macroeconòmiques. De cara a futurs estudis, s'hauria de partir d'una base de dades més completa per obtenir resultats més fiables, ja que alguns dels resultats obtinguts han estat esbiaixats per la reduïda mostra de la qual es disposava. Un exemple clar d'aquest fet han estat les variables climàtiques o els clústers obtinguts amb el Grup 2 de contaminants ( $\text{O}_3$  i  $\text{SO}_2$ ). A més, per tal de quantificar amb més exactitud la influència de variables socioeconòmiques o climàtiques, seria interessant portar a terme el disseny d'un, o diversos, models de regressió; doncs els diagrames de caixa i bigotis només han permès veure els resultats més destacats, sense poder indagar d'una manera més precisa en les relacions entre les dues parts.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Ajuntament de Barcelona . (2020). *Servei de dades obertes de l'Ajuntament de Barcelona*. Recuperat de <https://opendata-ajuntament.barcelona.cat/data/ca/dataset/est-vehicles-tipologia-parc-vehicles/resource/ba9086a4-e71d-44f2-b10e-39423cbac81f#additional-info>
- Ajuntament de Barcelona. (2020). Recuperat de Anuari Estadístic de la Ciutat de Barcelona 2020: [http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/anuari/Anuari2020\\_AAFF.pdf](http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/anuari/Anuari2020_AAFF.pdf)
- Bir, B. (2019). *Anadolu Agency*. Recuperat de <https://www.aa.com.tr/en/environment/year-of-climate-strike-climate-change-protests-in-2019/1687317>
- Brea, L. M. (2013). *Krigeado y teoría del muestreo*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Brook, R. D. (2007). Is air pollution a cause of cardiovascular disease? Updated review and controversies. *Reviews on environmental health*, 22(2), 115-137. <https://doi.org/10.1515/REVEH.2007.22.2.115>
- Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro [CeMCAQ]. (2017). Recuperat de <http://www.cemcag.mx/contaminacion/bioxido-de-azufre-so2>
- Fundación Wikipedia Inc. (2020, 1 11). Recuperat de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Variograma>
- Fundación Wikipedia Inc. (2021, 2 9). Recuperat de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Krigeaje>
- Generalitat de Catalunya [GENCAT]. (2010). Recuperat de: [http://mediambient.gencat.cat/ca/05\\_ambits\\_dactuacio/educacio\\_i\\_sostenibilitat/educacio\\_per\\_a\\_la\\_sostenibilitat/suport\\_educatiu/atmosfera/experiencies/informacio/principals\\_contaminants/](http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/educacio_i_sostenibilitat/educacio_per_a_la_sostenibilitat/suport_educatiu/atmosfera/experiencies/informacio/principals_contaminants/)
- Generalitat de Catalunya [GENCAT]. (2019). Recuperat de: [http://mediambient.gencat.cat/ca/05\\_ambits\\_dactuacio/atmosfera/qualitat\\_de\\_laire/principals\\_contaminants/](http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/principals_contaminants/)
- Generalitat de Catalunya [GENCAT] (2021, a). Recuperat de: <https://canalsalut.gencat.cat/ca/salut-a-z/c/contaminacio-atmosferica/Contaminants-de-laire-i-efectes-sobre-la-salut/>
- Generalitat de Catalunya [GENCAT] (2021, b). Recuperat de *Qualitat de l'aire als punts de mesurament automàtics de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica*: <https://analisi.transparenciacatalunya.cat/Medi-Ambient/Qualitat-de-l-aire-als-punts-de-mesurament-autom-t/tasf-thgu>
- Generalitat de Catalunya [GENCAT] (2021, c). Recuperat de: [http://mediambient.gencat.cat/ca/05\\_ambits\\_dactuacio/atmosfera/qualitat\\_de\\_laire/vols-saber-que-respires/descarrega-de-dades/](http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/vols-saber-que-respires/descarrega-de-dades/)
- Goldberg, M. S., Chen, H., & Villeneuve, P. J. (2008). A systematic review of the relation between long-term exposure to ambient air pollution and chronic diseases. *Reviews on Environmental Health*, 23(4), 243-298. <https://doi.org/10.1515/REVEH.2008.23.4.243>
- Hao, Y., Zheng, S., Zhao, M., Wu, H., Guo, Y., & Li, Y. (2019). Reexamining the relationships among urbanization, industrial structure, and environmental pollution in China—New evidence using the dynamic threshold panel model.

- Energy Reports*, Volume 6, Pag. 28-39.  
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.029>
- Health Effects Institute. (2019). *A SPECIAL REPORT ON GLOBAL EXPOSURE TO AIR POLLUTION AND ITS DISEASE BURDEN*. Boston, MA: Health Effects Institute. ISSN 2578-6873.
- Institut d'Estadística de Catalunya [IDESCAT]. (2019). Recuperat de: <https://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=250&t=2019>
- Institut d'Estadística de Catalunya [IDESCAT]. (2020). Recuperat de: <https://www.idescat.cat/pub/?id=pibc&n=13830&by=mun&lang=es&t=201800>
- Institut d'Estadística de Catalunya [IDESCAT]. (2021). Recuperat de: <https://www.idescat.cat/emex/>
- Liang, L., & Gong, P. (2020). Urban and air pollution: a multi-city study of long-term effects of urban landscape patterns on air quality trends. *Scientific reports*, 10(1), 18618. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74524-9>
- Lin, G., Fu, J., Jiang, D., Hu, W., Dong, D., Huang, Y., & Zhao, M. (2013). Spatio-Temporal Variation of PM2.5 Concentrations and Their Relationship with Geographic and Socioeconomic Factors in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 11(1), 173–186. <https://doi.org/10.3390/ijerph110100173>
- Liu, Y., Wu, J., & Yu, D. (2018). Disentangling the Complex Effects of Socioeconomic, Climatic, and Urban Form Factors on Air Pollution: A Case Study of China. *Sustainability*, 10(3), 776. <https://doi.org/10.3390/su10030776>
- Oliver, M., & Webster, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*. Volume 113. Pag. 56-69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.006>
- Oller, R. (2020). *Anàlisi clúster* [2-63]. [https://campus.uvic.cat/aulas/pluginfile.php/738819/mod\\_resource/content/1/5/Clusterresum.pdf](https://campus.uvic.cat/aulas/pluginfile.php/738819/mod_resource/content/1/5/Clusterresum.pdf)
- Reial Decret 102/2011, de 28 de gener, relatiu a la millora de la qualitat de l'aire, BOE núm. 25 § 1645.
- Ren, L., & Matsumoto, K. (2020). Effects of socioeconomic and natural factors on air pollution in China: A spatial panel data analysis. *Science of the Total Environment*. Volume 740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140155>
- Rovira, J., Domingo, J. L., & Schuhmacher, M. (2019). Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM10, PM2.5, NO2 and O3): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135538>
- Schwartz, J., Dockery, D. W., & Neas, L. M. (1996). Is daily mortality associated specifically with fine particles? *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46(10), 927–939.
- Thirumalai, C. S., Manickam, V., & R, B. (2017). Data analysis using Box and Whisker Plot for Lung Cancer. *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, pp. 1-6, DOI: 10.1109/IPACT.2017.8245071.
- UNECE, UNITED NATION ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. (2016). <https://unece.org/> Recuperat de: [https://unece.org/DAM/information/1529385\\_UNECE\\_climate\\_change\\_interactive.pdf](https://unece.org/DAM/information/1529385_UNECE_climate_change_interactive.pdf)

- WHO, World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. Recuperat de: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>
- World Health Organization. (2020). Recuperat de: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
- Xu, W., Sun, J., Liu, Y., Xiao, Y., Tian, Y., Zhao, B., & Zhang, X. (2019). Spatiotemporal variation and socioeconomic drivers of air pollution in T China during 2005–2016. *Journal of environmental management*, 245, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.041>
- Yalcin, F., Tepe, A. M., Dogan, G., & Cizmeci, N. (2021). Spatial Regression Models for Explaining AQI Values in Cities of Turkey. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 4 (1), 1-15 . DOI: 10.34088/kojose.803949
- Yang, Y., Lan, H., & Li, J. (2019). Spatial Econometric Analysis of the Impact of Socioeconomic Factors on PM2.5 Concentration in China's Inland Cities: A Case Study from Chengdu Plain Economic Zone. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 74. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010074>
- Zhao, X., Zhou, W., Han, L., & Locke, D. (2019). Spatiotemporal variation in PM2.5 concentrations and their relationship with T socioeconomic factors in China's major cities. *Environmental International*, 113, Part A. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105145>



FACULTAT  
**D'EMPRESA I COMUNICACIÓ**  
UVIC | UVIC-UCC

**Treball de Fi de Grau**

***L'AIRE QUE RESPIREM***  
**Evolució i causes de la contaminació  
atmosfèrica a Catalunya**

Sergi Barnera Dordal

Modalitat: *Acadèmic*

***APÈNDIX***

**Grau en Administració i Direcció d'Empreses**

Tutor: Ramon Oller Piqué

Vic, juny de 2021

## ÍNDEX

<b>A.1</b> .....	<b>3</b>
<b>A.2</b> .....	<b>8</b>
<b>A.3</b> .....	<b>10</b>
<b>A.4</b> .....	<b>12</b>
<b>A.5</b> .....	<b>12</b>
<b>A.6</b> .....	<b>13</b>
<b>A.7</b> .....	<b>14</b>
<b>A.8</b> .....	<b>15</b>
<b>A.9</b> .....	<b>17</b>
A.9.a - Diòxid de Nitrogen (NO <sub>2</sub> ).....	17
A.9.b - Monòxid de Nitrogen (NO) .....	18
A.9.c- Ozó Troposfèric (O <sub>3</sub> ).....	19
A.9.d- Diòxid de Sofre (SO <sub>2</sub> ) .....	20
<b>A.10</b> .....	<b>21</b>
<b>A.11</b> .....	<b>21</b>
<b>A.12</b> .....	<b>22</b>
<b>A.13</b> .....	<b>23</b>
<b>A.14</b> .....	<b>24</b>
<b>A.15</b> .....	<b>25</b>
<b>A.16</b> .....	<b>25</b>

## A.1

### Base de dades 1 (Mesuraments de la qualitat de l'aire)

Nom Estació	Municipi	Regió	Coord. X (LON)	Coord. Y (LAT)	NO2_2010	NO_2010	O3_2010	SO2_2010	CO_2010	NOX_2010	PM10_2010	NO2_2011	NO_2011	O3_2011	SO2_2011	CO_2011	NOX_2011	PM10_2011	NO2_2012
Terrassa	Terrassa	RCAT	2,0073977	41,55611	49,38	27,49	42,39	1,88	0,41	91,04		51,30	25,14	42,24	1,65	0,38	89,36		45,14
Sabadell	Sabadell	RCAT	2,1011107	41,56121	52,88	45,71	40,18			122,32		48,68	40,37	39,09			109,78		52,44
Lleida	Lleida	RCAT	0,6157005	41,61582	29,92	12,51	47,62	3,40	0,27		26,55	27,62	14,58	44,14	2,01	0,30		28,69	25,79
Tarragona Bonavista	Tarragona	RCAT	1,1919986	41,11591	22,91	4,76		1,94	0,28			23,67	5,39		2,72		37,55		22,54
Tarragona Parc de la Ciutat	Tarragona	RCAT	1,2427027	41,1174	28,90	8,44	53,13	2,22	0,30			25,77	8,20	51,15	2,16	0,32			26,02
Tarragona Uni. Laboral	Tarragona	RCAT	1,2007992	41,10371	27,71	8,31		3,34	0,27			22,93	8,05		3,39				19,11
Tarragona St. Salvador	Tarragona	RCAT	1,2396973	41,15951	24,60	7,32		3,45	0,42			24,95	7,67		3,59				25,48
Mataró	Mataró	RCAT	2,4432983	41,54718	27,63	7,15	61,25	2,23	0,38	37,99	20,13	25,64	6,68	59,83	2,07	0,32	35,19	21,15	25,42
Reus	Reus	RCAT	1,1202013	41,1508	23,30	6,83	59,26	3,04	0,35		24,20	20,84	7,44	53,08		0,32		26,56	20,19
Girona (Escola de Música)	Girona	RCAT	2,8165	41,97638															35,97
Girona (Part de la Devesa)	Girona	RCAT	2,810553	41,98474	32,29	24,91		2,52	0,29			36,21	35,99		3,42	0,36			
Manresa	Manresa	RCAT	1,8253	41,73029	31,68	15,68	40,06	1,95	0,40		23,75	35,20	14,97	39,01	4,11	0,42		28,00	31,99
Rubí	Rubí	RCAT	2,0424972	41,49212	28,85	12,85	54,21	1,63	0,34			29,62	13,67	53,95	2,02	0,36		24,04	28,41
Vilanova i la Geltrú	Vilanova i la	RCAT	1,7211995	41,21899	22,15	5,04	56,21	2,14	0,29	29,27		19,18	4,63	44,80	2,16	0,31	25,80		20,19
Granollers	Granollers	RCAT	2,2870984	41,59868	41,21	27,63	41,39	2,85	0,37			37,92	30,53	40,80	3,07	0,34			42,05
Mollet del Vallès	Mollet del V	RCAT	2,2120984	41,54918	54,73	60,54	30,47	3,80	0,45	146,96		48,52	62,07				143,09		45,94
Vic	Vic	RCAT	2,2400014	41,93501			50,46							44,86					
Igualada	Igualada	RCAT	1,6230061	41,5784	25,41	11,75	42,88	4,77	0,33	42,74		29,05	12,61	42,27	4,39	0,29	47,50		21,75
Vilafraanca del Penedès	Vilafraanca d	RCAT	1,6865987	41,34681	21,84	5,40	51,22	2,51		29,35	22,52								16,87
Sitges (Vallcarca)	Sitges	RCAT	1,856664	41,24082				1,01				15,68	4,25		1,02				
Sitges (Vallcarca - Oficines)	Sitges	RCAT	1,859168	41,24225															
Martorell	Martorell	RCAT	1,9212021	41,47538	43,21	28,32	37,44	2,74	0,32	86,05		43,81	28,57		2,58	0,29	86,53		39,73
Santa Perpètua de Mogoda	Santa Perpè	RCAT	2,1838	41,52672	43,10	32,56	37,19	2,96		92,49	28,81	35,17	33,49		3,08		85,96	30,20	38,20
Vila-seca	Vila-seca	RCAT	1,1519431	41,11196	22,38	5,44	56,25	1,78				23,33	6,13	55,00	2,09				22,35
Ampostà	Ampostà	RCAT	0,5817011	40,7067	17,94	3,83	64,12				19,01	19,90	5,98	59,03				22,43	16,33
Manlleu	Manlleu	RCAT	2,2872992	42,00331								20,68	12,71	47,56	7,41				21,31
Badalona	Badalona	AMB	2,2378986	41,44399	40,98	17,86	47,95	2,14	0,35			37,17	15,89	45,68	2,65	0,40			37,41
Barberà del Vallès	Barberà del	AMB	2,2153984	41,51268	40,21	23,06		3,07	0,37	74,85		42,69	24,75				79,56		43,64
Cornellà de Llobregat	Cornellà de l	AMB	2,076113	41,35638	38,82	14,03		2,79				39,17	13,99						36,68
El Prat de Llobregat (Sagnier)	El Prat de Ll	AMB	2,0821	41,32177								36,69	17,85	42,64	3,00	0,39			37,87
El Prat de Llobregat (Jardins de la Pau)	El Prat de Ll	AMB	2,0977015	41,32149	40,81	18,37	50,63	2,71				38,76	17,15		3,06				37,76
Gavà	Gavà	AMB	1,9914981	41,3031	14,12	5,16	53,31	3,20	0,29			15,09	6,10	54,38	3,05	0,30			14,83
L'Hospitalet de Llobregat	L'Hospitalet	AMB	2,1149993	41,37048	40,92	16,69	49,75	3,19	0,39	65,83		36,11	15,08				58,62	27,95	39,87
Montcada i Reixac	Montcada i f	AMB	2,1882975	41,48197	48,19	34,90	36,34	2,12	0,34	101,91	38,71	42,45	30,63	36,52	2,27	0,35	89,14	37,76	41,98
Montcada i Reixac (Can Sant Joan)	Montcada i f	AMB	2,1758358	41,46983							29,12								28,86
Sant Adrià de Besòs	Sant Adrià d	AMB	2,2221997	41,42559	47,24	23,24	40,89	3,17	0,42	81,94	30,45	43,78	25,30	38,33	3,14		81,60	29,80	46,12
Sant Andreu de la Barca	Sant Andreu	AMB	1,9748996	41,4508	46,62	28,77	35,14	3,63		90,21		46,63	28,53		2,90		89,89		44,68
Sant Cugat del Vallès	Sant Cugat c	AMB	2,0889983	41,47681	32,44	15,99	42,06	3,05	0,47	56,41		30,19	14,63	38,03			52,12		32,62
Sant Feliu de Llobregat	Sant Feliu de	AMB	2,0573997	41,38657															
Sant Vicenç dels Horts	Sant Vicenç	AMB	1,997202	41,40085															21,81
Sant Vicenç dels Horts (Ribot)	Sant Vicenç	AMB	2,0097985	41,39219	38,57	20,12	40,31	1,37			28,59	35,87	19,55	38,37	1,89			33,86	36,84
Santa Coloma de Gramenet	Santa Colom	AMB	2,209497	41,44742	42,99	16,79	40,69	2,67	0,44	68,06		41,38	16,03				65,22		42,22
Viladecans (Atrium)	Viladecans	AMB	2,0136087	41,31335	19,86	10,80	54,44	3,75	0,35			18,04	9,39	56,65	2,96	0,30			20,28
Barcelona (Eixample)	Barcelona	BCNC	2,1537998	41,38532								65,70	42,84	32,02	5,19	0,71	130,99	33,45	60,79
Barcelona (Parc Vall Hebron)	Barcelona	BCNC	2,148002	41,42611	36,96	8,25	54,40	1,71	0,37			33,30	7,01	45,34	3,22	0,36			31,04
Barcelona (Gràcia - Sant Gervasi)	Barcelona	BCNC	2,1533988	41,39724	64,15	34,42	37,94	2,72	0,60			65,71	37,44	36,77	3,99	0,58			60,94
Barcelona (Palau Reial)	Barcelona	BCNC	2,1151996	41,38749															36,55
Barcelona (Ciudadella)	Barcelona	BCNC	2,1873982	41,38641	46,49	17,48	45,17	3,35	0,44	72,40		40,57	15,77	44,50			62,15		42,15
Barcelona (Poblenou)	Barcelona	BCNC	2,204501	41,40388	45,62	19,15	40,85	2,38	0,37	74,52		43,14	20,51				74,13		42,30
Barcelona (Sants)	Barcelona	BCNC	2,133099	41,37878	41,27	13,07		2,32	0,36	60,99		40,32	13,03				60,07		36,64
Barcelona (Observatori Fabra)	Barcelona	BCNC	2,1238973	41,41843															

Nom Estació	NO_2012	O3_2012	SO2_2012	CO_2012	NOX_2012	PM10_2012	NO2_2013	NO_2013	O3_2013	SO2_2013	CO_2013	NOX_2013	PM10_2013	NO2_2014	NO_2014	O3_2014	SO2_2014	CO_2014	NOX_2014	
Terrassa	23,62	43,95	1,57	0,38	80,84		44,52	22,01	47,24	1,77	0,35	77,79		44,58	23,54	43,91	1,84	0,39	80,17	
Sabadell	36,14	42,45			107,33		48,06	31,55	43,97			95,93		43,27	33,31	40,36			93,82	
Lleida	13,19	47,38	1,57	0,31	40,03	29,20	22,08	8,46	51,67	1,81	0,27	34,04	24,36	22,04	13,18	50,33	2,22	0,25	41,47	
Tarragona Bonavista	5,17		2,17		29,93	18,61	18,88	4,68		1,48		25,49	15,41	20,35	5,76		3,25		28,71	
Tarragona Parc de la Ciutat	8,29	53,14	2,32	0,32	38,19		24,13	7,88	56,30	2,47	0,30	35,92		23,31	7,78	52,37	2,08	0,25	34,59	
Tarragona Uni. Laboral	5,51		2,45		26,94		19,32	4,93		2,53		26,50		19,99	5,87		2,50		28,62	
Tarragona St. Salvador	7,99		3,20		36,53		22,44	6,56		2,86		32,14		20,85	5,47		1,76		28,74	
Mataró	6,22	58,32	1,91		33,65	21,48	25,20	6,45	62,50	1,80	0,30	33,94	17,35	25,87	6,55	60,36	2,55	0,36	34,46	
Reus	6,73	59,98		0,27	30,11	24,68	18,99	7,22	63,01		0,30	29,63	20,34	18,57	6,49	59,05		0,23	28,03	
Girona (Escola de Música)	21,61		3,27	0,33	64,45		32,03	19,02		4,32	0,28	60,65		30,25	15,95		2,61	0,28	54,19	
Girona (Part de la Devesa)																				
Manresa	14,32	39,20	2,58	0,38		28,39	29,64	10,98	44,65	3,22	0,36	45,47	22,25	30,19	13,59	40,89	3,32	0,35	49,80	
Rubí	13,04	53,40	2,43	0,35		23,79	25,10	11,18	56,16	2,49	0,30	41,38	19,08	27,20	12,71	48,73	2,98	0,29	46,05	
Vilanova i la Geltrú	4,62	55,53	1,86	0,31	26,74		18,37	3,75	57,77	2,02	0,33	23,61		20,76	4,43	56,62	1,78	0,31	27,06	
Granollers	33,74	40,18	5,05	0,37			40,17	32,80	41,79	4,82	0,36	89,38		35,20	27,42	42,32			76,57	
Mollet del Vallès	60,65				138,28		44,56	55,51				129,02		44,31	55,74				129,16	
Vic		49,54							53,19							46,59				
Igualada	16,13	41,36	4,14	0,31	45,23		20,42	9,84	45,40	3,07	0,34	34,95		21,90	12,58	46,73	3,83	0,33	40,24	
Vilafraça del Penedès	5,31	52,33			23,46	21,41	17,59	5,89	49,71			26,01	17,84	17,30	5,59	55,68			25,20	
Sitges (Vallcarca)			1,00																	
Sitges (Vallcarca - Oficines)														10,49	2,38					
Martorell	25,62		2,87	0,29	77,65		41,03	21,70		2,24	0,30	73,10								
Santa Perpètua de Mogoda	32,77		2,78		87,93	36,20	38,19	28,64		2,62		81,52	28,43	36,76	28,62		2,58		80,05	
Vila-seca	5,78	57,11	2,48		30,59	23,69	19,68	5,30	58,47	1,87		27,20	14,84	20,60	5,64	53,76	2,34		28,62	
Ampostà	4,01	61,89				21,91	14,82	4,28	63,60			20,47	17,39	13,33	4,46	61,45			18,96	
Manlleu	12,63	43,73	5,56				22,11	13,91	44,58	6,75		42,55		19,05	9,30	43,46	5,33		32,49	
Badalona	15,93	48,26	2,84	0,30	60,37		38,80	14,37	51,88	2,99	0,31	60,45		40,00	15,58	48,40	3,87		62,92	
Barberà del Vallès	23,72				78,12		41,17	21,22				71,88		40,08	22,13				72,56	
Cornellà de Llobregat	13,49				56,85															
El Prat de Llobregat (Sagnier)	22,53	39,30	2,18	0,38										34,49	17,13	44,57	2,50	0,45		
El Prat de Llobregat (Jardins de la Pau)	17,48		2,94		64,10		33,13	14,31		2,11		54,64		34,56	15,63		2,46		58,06	
Gavà	5,56	59,61	2,60	0,26			15,30	4,94	59,59	2,47	0,25			17,06	4,60	52,50	2,97	0,27		
L'Hospitalet de Llobregat	12,21				54,45	26,75	33,28	11,64				50,63	21,89	33,88	12,01				51,78	
Montcada i Reixac	29,38	34,21	2,28	0,38	86,85	34,53	37,89	25,50	39,09	1,83	0,34	76,97	28,73	39,87	28,56	34,75	1,79	0,23	83,69	
Montcada i Reixac (Can Sant Joan)					27,63															
Sant Adrià de Besòs	26,16	41,54	2,94		85,48	32,10	40,85	21,94	42,22	2,49		73,67	25,21	42,15	21,45	43,99			74,04	
Sant Andreu de la Barca	26,95		2,76		85,46		42,78	23,76		2,56		78,71		41,01	25,73				79,91	
Sant Cugat del Vallès	13,94	32,61			53,40		29,96	11,15	44,30			46,54		27,44	10,89	42,03			43,46	
Sant Feliu de Llobregat							21,03	4,77		2,63		26,98		22,94	8,38		3,06		33,65	
Sant Vicenç dels Horts	10,90						20,43	9,98		3,31				23,61	13,66		3,18			
Sant Vicenç dels Horts (Ribot)	19,53	40,30	3,06		67,67	32,84	34,67	15,60	45,19	1,70		58,08	28,70	34,41	17,43	38,26	1,92		60,32	
Santa Coloma de Gramenet	15,09				64,75		37,44	12,73				56,34		37,69	13,43				57,45	
Viladecans (Atrium)	8,58	59,31	2,80	0,32			19,38	7,46	60,09	2,62	0,28			18,83	8,24	57,23	3,94	0,39		
Barcelona (Eixample)	37,85	32,89	2,20	0,64	118,20	31,94	56,73	33,14	37,30	1,80	0,59	106,93	25,68	52,30	37,24	36,24	2,05	0,58	108,89	
Barcelona (Parc Vall Hebron)	6,85	57,28	3,69	0,35	41,05		27,50	5,57	57,73	3,17	0,36	35,32		28,43	6,90	55,51	1,97	0,24	38,40	
Barcelona (Gràcia - Sant Gervasi)	34,49	37,27	3,51	0,54	113,56		54,42	31,78	41,98	2,80	0,49	102,74		51,60	26,00	42,52	2,40	0,46	91,06	
Barcelona (Palau Reial)	10,45	53,37	2,13	0,38	52,12		32,66	8,85	57,96	2,21	0,35	45,74		31,14	8,99	54,02	1,85	0,30	44,47	
Barcelona (Ciutadella)	14,26	40,73			60,61		35,37	13,77	42,71			55,82		37,22	14,28	39,52			58,65	
Barcelona (Poblenou)	17,64				68,95		40,01	15,59				63,47		39,31	15,69				62,93	
Barcelona (Sants)	10,55				52,50		33,50	9,43				47,60		31,96	8,13				44,06	
Barcelona (Observatori Fabra)																				

Nom Estació	PM10_2014	NO2_2015	NO_2015	O3_2015	SO2_2015	CO_2015	NOX_2015	PM10_2015	NO2_2016	NO_2016	O3_2016	SO2_2016	CO_2016	NOX_2016	PM10_2016	NO2_2017	NO_2017	O3_2017	SO2_2017	CO_2017
Terrassa		47,11	25,86	43,15	1,74	0,39	86,22		42,26	24,17	44,34	1,62	0,33	78,80	29,56	40,20	20,18	45,21	2,32	0,39
Sabadell		41,85	34,82	39,48			94,69		39,45	31,02	39,15			86,52	26,55	38,00	28,49	36,14		
Lleida	25,08	22,87	11,38	47,13	2,05	0,29	39,59	27,06	23,58	11,62	46,64	2,10	0,26	40,85	23,58	25,00	11,78	45,36	2,38	0,26
Tarragona Bonavista	16,56	24,00	6,66		3,08		33,72	22,42	20,12	6,39		3,11		29,45	17,19	22,41	5,04		3,37	
Tarragona Parc de la Ciutat		25,10	8,49	52,95	2,02	0,24	37,53		23,12	6,61	52,22	1,78	0,27	32,66		23,56	7,10	54,90	1,72	0,23
Tarragona Uni. Laboral		21,13	5,61		2,28		28,73		21,28	5,48		1,90		29,13		22,56	5,81		2,26	
Tarragona St. Salvador		21,91	6,24		1,84		30,98		18,83	5,81		1,81		27,29		19,10	4,98		3,26	
Mataró	21,35	26,77	6,88	58,06	2,36	0,47	36,14	21,44	23,17	6,53	58,87	3,60	0,31	32,59	19,40	24,13	6,08	60,25	2,54	0,34
Reus	23,91	19,20	8,21	58,22		0,26	31,20	25,01	19,72	7,98	56,46		0,26	31,59	22,94	18,59	7,06	57,67		0,25
Girona (Escola de Música)		31,67	20,98		3,51	0,33	63,39		29,98	17,48		3,28	0,34	56,33		30,71	19,17		2,67	0,36
Girona (Part de la Devesa)																				
Manresa	24,61	34,13	14,34	42,67	2,87	0,35	55,43	26,65	30,32	12,84	43,43	1,81	0,32	49,12	22,00	33,98	11,32	43,20	2,79	0,43
Rubí	22,19	30,95	15,65	46,72	2,34	0,35	54,34	25,89	27,95	13,18	48,96	2,34	0,29	47,66	22,53	28,29	11,68	47,37	1,95	0,30
Vilanova i la Geltrú		19,40	5,75	56,05	2,13	0,24	27,67		17,57	4,98	56,31	1,38	0,31	24,61				53,70	2,03	0,26
Granollers		39,08	30,35	41,62			84,89		37,94	26,77	40,01			78,09	27,24	40,60	28,91	40,60		
Mollet del Vallès		46,20	59,38				136,62		43,41	52,09				122,53		44,02	54,23			
Vic				48,56							47,37							45,68		
Igualada		22,02	11,83	41,55	3,05	0,38	39,74		18,61	11,77	45,27	3,68	0,36	36,98		19,72	10,25	46,01	3,55	0,32
Vilafraça del Penedès	21,08	18,52	5,54	54,16			26,05	21,53	16,54	5,24	52,03			23,98	17,71	5,18	17,81	52,26		
Sitges (Vallcarca)																				
Sitges (Vallcarca - Oficines)									11,66	2,73				13,78						
Martorell		41,04	26,24				80,23		34,99	23,73				70,83		36,86	21,49			
Santa Perpètua de Mogoda	28,58	38,90	33,27		1,93		89,34	28,76	35,78	27,71		2,93		77,75	25,12	37,67	30,89		2,64	
Vila-seca	17,53	22,50	7,24	52,46	2,20		32,89	24,96	20,37	6,21	54,03	2,94		29,29	16,82	20,87	5,83	58,04	2,67	
Ampostà	21,28	15,14	4,09	58,61			20,43	20,40	15,04	3,41	60,57			19,32	17,80	18,27	3,11	62,56		
Manlleu		21,15	14,88	45,66	6,77		43,11		20,06	11,39	45,91	4,80		36,46		22,77	13,88	43,06	3,88	
Badalona		41,06	18,18	47,48	3,23		68,48		37,92	15,65	48,38	1,98		61,39		38,79	15,02	46,16	2,25	
Barberà del Vallès		41,65	25,33				79,09		36,59	20,27				66,82		37,96	20,66			
Cornellà de Llobregat																				
El Prat de Llobregat (Sagnier)				47,30	2,86	0,41			34,90	16,85	43,00	3,14	0,39	60,38		35,56	16,56	43,37	2,44	0,28
El Prat de Llobregat (Jardins de la Pau)		36,76	17,03		3,03		62,41		35,00	15,38		3,25		58,12		35,25	14,19		2,79	
Gavà		15,40	4,60	58,94	2,96	0,27	22,21		13,43	3,98	58,32	2,51	0,27	19,30		14,41	3,84	54,36	2,31	0,27
L'Hospitalet de Llobregat	22,77	38,88	16,70				63,92	27,78	35,42	13,01				54,68	23,47	36,38	12,77			
Montcada i Reixac	31,39	40,34	31,65	38,71	2,26	0,28	89,02	34,72	35,95	26,59	37,64	1,64	0,31	76,63	27,78	34,91	27,40	36,86	3,66	0,31
Montcada i Reixac (Can Sant Joan)	24,34						23,07							20,25						
Sant Adrià de Besòs	26,16	41,88	22,96	42,94			76,56	29,07	39,95	20,48	42,76			70,84	26,15	39,99	20,48	38,57		
Sant Andreu de la Barca		43,10	26,18				82,73		41,27	23,70				77,08		43,22	23,02			
Sant Cugat del Vallès		29,34	14,50	42,48			50,99		26,76	12,17	40,38			44,82		27,28	11,37	40,96		
Sant Feliu de Llobregat		22,52	6,21		2,55		30,25		18,53	3,99		2,50		22,54					2,14	
Sant Vicenç dels Horts		33,68	16,74		3,06				28,45	14,40		3,97		42,73		30,55	16,55		4,49	
Sant Vicenç dels Horts (Ribot)	30,50	35,18	18,60	41,43	2,55		63,08	33,79	33,60	17,60	42,37	3,51		59,85	28,93	35,27	18,86	39,72	3,04	
Santa Coloma de Gramenet		37,60	16,09				61,84		34,65	13,75				55,31		35,51	14,15			
Viladecans (Atrium)		16,93	8,49	61,38	3,46	0,37	29,60		16,92	6,94	57,31	2,79	0,33	27,27		19,27	6,48	52,66	2,16	0,28
Barcelona (Eixample)	28,49	56,71	42,95	35,82	2,60	0,81	122,04	29,41	52,06	35,80	38,80	2,19	0,67	106,45	26,48	59,50	37,93	35,54	2,35	0,56
Barcelona (Parc Vall Hebron)		32,26	9,18	54,93	2,37	0,26	45,87		29,14	7,46	58,83	1,84	0,24	40,08	21,51	32,77	8,59	53,46	1,76	0,29
Barcelona (Gràcia - Sant Gervasi)		54,74	28,21	42,16	2,77	0,58	97,37		49,36	23,33	43,74	2,16	0,47	84,56	23,50	52,13	23,88	42,01	2,39	0,38
Barcelona (Palau Reial)		34,71	11,57	53,47	2,04	0,31	51,96		30,36	8,73	56,29	2,09	0,35	43,13	19,60	32,18	8,95	51,59	2,24	0,30
Barcelona (Ciutadella)		42,51	20,34	42,03			73,25		38,61	14,54	44,92			60,45		37,93	15,00	40,76		
Barcelona (Poblenou)		45,18	20,84				76,68		42,77	17,04				68,35	28,84	44,13	17,74			
Barcelona (Sants)		36,19	11,84				53,93		32,08	9,75				46,60		36,12	10,77			
Barcelona (Observatori Fabra)																				

Nom Estació	NOX_2017	PM10_2017	NO2_2018	NO_2018	O3_2018	SO2_2018	CO_2018	NOX_2018	PM10_2018	NO2_2019	NO_2019	O3_2019	SO2_2019	CO_2019	NOX_2019	PM10_2019
Terrassa	70,60	23,24	35,47	18,55	44,59	2,29	0,38	63,61	21,25	36,49	17,34	46,92	2,49	0,35	62,80	22,90
Sabadell	81,16	26,01	36,37	27,35	41,02			78,03	24,32	34,07	22,25	42,88			67,96	25,58
Lleida	42,51	24,96	20,03	7,41	48,03	1,89	0,24	30,91	17,79	20,64	6,69	48,22	2,35	0,23	30,52	16,75
Tarragona Bonavista	29,49	19,16	21,02	4,57		2,74		27,54	19,24	18,44	3,63		3,31		23,44	19,40
Tarragona Parc de la Ciutat	33,92		21,91	6,38	55,83	1,63	0,24	31,08		21,60	5,54	58,08	1,70	0,25	29,53	
Tarragona Uni. Laboral	30,64		19,73	5,29		1,53		27,17		18,13	5,22		1,53		25,35	
Tarragona St. Salvador	26,14		17,08	4,52		2,43		23,64		17,53	4,69		2,98		24,44	
Mataró	32,77	18,93	23,41	4,94	60,34	3,68	0,28	30,38	17,05	22,68	4,29	63,87	3,89	0,38	28,57	17,12
Reus	29,04	22,55	17,62	6,44	61,43		0,23	26,88	19,38	17,54	6,76	61,92		0,23	26,97	17,68
Girona (Escola de Música)	59,64		28,45	18,36		2,81	0,32	56,35	23,57	26,40	13,87		3,31	0,36	47,30	23,16
Girona (Part de la Devesa)																
Manresa	49,89	22,22	26,83	10,69	40,15	2,00		42,96	20,30	26,38	9,24	43,62	2,55		40,11	23,40
Rubí	45,78	21,76	22,91	9,81	47,11	1,56	0,26	37,43	19,57	23,44	9,36	49,94	1,70	0,33	37,45	21,05
Vilanova i la Geltrú			16,03	3,85	54,76	1,45	0,24	21,46		17,43	3,75	53,84	2,08	0,25	22,79	
Granollers	84,28	28,84	33,38	25,41	42,69			71,73	26,95	34,55	25,06	42,56			72,41	28,17
Mollet del Vallès	126,36		40,44	46,91				111,87		38,48	42,46				103,15	
Vic					45,23							47,65				21,68
Igualada	34,10									18,07	5,67	56,11	1,89	0,37	26,25	
Vilafraanca del Penedès	24,99	19,59	15,62	4,14	53,12			21,14	17,25	15,48	4,27	55,24			21,51	18,53
Sitges (Vallcarca)																
Sitges (Vallcarca - Oficines)																
Martorell	69,28		31,52	17,75				58,40		29,44	14,39				51,23	21,08
Santa Perpètua de Mogoda	84,44	24,78	32,04	27,09		2,33		73,22	24,47	31,78	26,20		2,54		65,20	26,54
Vila-seca	28,87	20,49	18,25	5,35	55,58	2,72		25,67	17,93	17,21	4,82	57,41	2,39		24,14	17,60
Ampostà	21,39	18,73	13,49	3,00	61,16			17,50	17,77	12,59	2,58	61,57			15,83	18,61
Manlleu	22,77		18,57	11,07	40,53	2,75		34,85	23,13	20,11	10,33	42,80	2,04		35,18	27,70
Badalona	61,31		34,92	13,48	45,05	2,09		55,69		33,27	11,74	45,77	2,18		50,99	
Barberà del Vallès	68,87		33,30	18,67				61,10		33,70	16,90				59,04	
Cornellà de Llobregat																
El Prat de Llobregat (Sagnier)	60,57		33,94	15,48	43,69	2,86	0,27	57,49		31,96	14,29	43,52	3,70	0,28	53,63	
El Prat de Llobregat (Jardins de la Pau)	56,54		33,77	13,94		1,97		54,90		33,02	11,94		2,64		51,13	
Gavà	20,10		14,85	4,80	57,02	2,21	0,23	22,07		15,49	4,99	61,24	3,38	0,24	22,97	
L'Hospitalet de Llobregat	55,32	24,30	36,17	11,86				53,67	25,12	33,33	10,83				49,58	21,50
Montcada i Reixac	76,78	26,62	31,94	24,15	37,14	1,86	0,33	69,00	25,67	34,53	27,26	36,68	1,26	0,27	75,76	25,91
Montcada i Reixac (Can Sant Joan)		20,38						21,11							22,93	
Sant Adrià de Besòs	70,89	25,88	40,19	20,19	40,80			70,90	24,81	36,97	17,11	43,73			62,77	24,25
Sant Andreu de la Barca	78,01		38,60	21,82				71,82		37,90	18,40				65,96	
Sant Cugat del Vallès	43,98		24,06	9,52	38,70			38,02		24,83	8,97	39,88			37,87	
Sant Feliu de Llobregat						2,16										
Sant Vicenç dels Horts	54,08		28,04	14,08		9,05		49,19		28,37	11,77		8,76		45,93	
Sant Vicenç dels Horts (Ribot)	63,46	28,67	32,64	16,84	37,79	2,68		58,05	22,88	31,70	13,63	37,90	4,27		51,98	24,00
Santa Coloma de Gramenet	56,74		32,78	11,86				50,93		33,10	9,86				48,14	
Viladecans (Atrium)	28,94		21,73	7,24	59,41	2,15	0,24	32,71		25,34	9,72	57,80	3,02	0,34	40,03	
Barcelona (Eixample)	117,10	26,77	53,87	34,34	36,40	1,79	0,44	106,23	25,58	49,52	28,64	38,97	1,76	0,37	93,19	27,32
Barcelona (Parc Vall Hebron)	45,47	21,12	28,99	8,03	53,15	1,45	0,28	41,06	19,06	28,94	7,83	56,38	1,48	0,30	40,65	23,55
Barcelona (Gràcia - Sant Gervasi)	88,26	25,43	46,29	21,47	42,64	2,05	0,42	78,71		43,54	16,86	43,13	1,58	0,39	68,94	24,25
Barcelona (Palau Reial)	45,37	20,25	28,78	7,21	48,64	1,74	0,30	38,71	17,85	27,93	6,79	53,25	1,50	0,29	37,47	20,37
Barcelona (Ciutadella)	60,52		35,49	14,06	41,19			56,75		32,35	11,59	43,24			49,74	
Barcelona (Poblenou)	70,64	28,62	38,72	14,67				60,98	24,56	36,70	13,10				56,55	30,06
Barcelona (Sants)	52,12		33,07	9,36				47,11		31,05	7,73				42,76	
Barcelona (Observatori Fabra)			12,19	2,66				15,52		11,61	3,40	81,64			17,74	16,54

## A.2

### Base de dades 2 (Variables Climàtiques)

Ciutat / Districte	Pob	Den	PIB	RFDB	RFDB (CAT=100)	RFDB_hab	VAB_Agr	VAB_Ind	VAB_Con	VAB_Ser	Pa_Veh	Pa_Veh / hab
Terrassa	220.556	3.143,60	5.127,60	3.587.277,00	95,70	16,50	1,7	865,2	332,7	3426,6	143.675	65,14%
Sabadell	213.644	5.653,50	4.556,60	3.568.964,00	98,60	17,00	1	469,8	268,1	3346,8	134.903	63,14%
Lleida	138.956	654,5	4.373,90	2.159.809,00	93,40	16,00	54,6	317	234,4	3220,8	89.618	64,49%
Tarragona	134.515	2.324,00	5.161,50	2.100.730,00	91,60	15,90	19,6	1489,1	207,8	3283,8	89.183	66,30%
Mataró	128.265	5.693,10	3.021,10	1.889.907,00	88,30	15,10	6,4	362,4	157	2212,1	77.655	60,54%
Reus	104.373	1.976,00	2.490,90	1.551.053,00	87,80	14,90	6,2	305,6	148,3	1808,7	73.181	70,11%
Girona	101.852	2.603,60	3.919,70	1.688.361,00	99,20	17,40	1,1	388	159,6	2792,2	72.280	70,97%
Manresa	77.714	1.865,90	1.976,10	1.202.125,00	92,50	16,00	3,4	289	98,5	1378,4	51.660	66,47%
Rubí	77.464	2.398,30	2.230,00	1.184.016,00	90,60	15,60	0,8	898,3	105,2	977,6	51.619	66,64%
Vilanova i la Geltrú	67.086	1.973,70	1.390,80	1.078.416,00	96,50	16,60	16,2	207,1	85,4	934,3	44.947	67,00%
Granollers	61.275	4.120,70	2.342,90	1.020.572,00	99,10	16,80	0,8	499,5	81,3	1481,7	41.826	68,26%
Mollet del Vallès	51.318	4.764,90	1.480,90	810.730,00	92,10	15,90	0,3	347,9	54	855,5	32.014	62,38%
Vic	46.214	1.511,30	1.908,60	760.518,00	93,60	17,30	6	499,2	67,3	1103,2	30.583	66,18%
Igualada	39.967	4.928,10	1.174,10	634.848,00	93,70	16,10	1,1	282,8	51,8	703,7	29.961	74,96%
Vilafranca del Penedès	39.746	2.022,70	974,40	632.523,00	93,50	16,00	2	153,9	59	677,4	27.130	68,26%
Sitges	29.307	668,4	736,20	583.517,00	123,80	20,60	0,3	36,3	36,3	563,1	19.642	67,02%
Martorell	28.189	2.209,20	3.138,10	423.030,00	89,10	15,40	0,2	2006,5	31	565,1	20.940	74,28%
Santa Perpètua de Mogoda	25.799	1.629,80	1.230,40	409.469,00	92,20	16,00	2,2	564,8	28,2	588,8	20.519	79,53%
Vila-seca	22.187	1.025,30	695,80	292.853,00	78,60	13,30	1,5	180,2	39,1	492,4	16.097	72,55%
Ampostà	20.738	149,9	511,60	258.294,00	74,30	12,40	17,7	110,6	28,2	310,4	16.403	79,10%
Manlleu	20.573	1.194,00	377,80	295.270,00	87,10	14,90	5,6	120,9	23,3	200,2	14.962	72,73%
L'Hospitalet de Llobregat	264.923	21.364,80	6.550,60	3.898.716,00	87,00	15,20	0,1	438,4	255,3	5170	125.996	47,56%
Badalona	220.440	10.407,90	4.302,80	3.472.733,00	92,10	16,10	0,3	501,8	259,1	3020	121.679	55,20%
Santa Coloma de Gramenet	119.215	17.030,70	1.394,80	1.637.084,00	80,80	14,00	0	79,4	96,9	1055,8	54.371	45,61%
Sant Cugat del Vallès	91.006	1.886,90	4.725,00	2.150.964,00	140,90	23,90	0,4	378,9	103,3	3641,2	58.723	64,53%
Cornellà de Llobregat	88.592	12.674,10	2.882,90	1.392.975,00	93,30	16,20	0,8	426,7	219	1999,8	47.340	53,44%
Viladecans	66.611	3.265,30	1.412,60	1.086.766,00	97,50	16,60	2,1	137,5	105,7	1033,4	42.445	63,72%
El Prat de Llobregat (Sagnier)	64.599	2.056,60	4.076,00	1.081.724,00	98,30	17,00	2,1	496,3	77,4	3118,6	39.763	61,55%
Gavà	46.771	1.521,00	1.353,10	816.606,00	103,80	17,70	2,8	352	67,3	863,8	30.577	65,38%
Sant Feliu de Llobregat	44.860	3.795,30	953,10	830.063,00	108,00	18,90	0,7	185,1	45,9	609,1	27.044	60,29%
Sant Adrià de Besòs	37.097	9.711,30	889,50	523.634,00	83,70	14,40	0	346,8	44,2	469,7	19.682	53,06%
Montcada i Reixac	36.239	1.544,10	1.324,70	553.736,00	90,70	15,70	0,3	487,6	74,1	592	26.363	72,75%
Barberà del Vallès	33.091	3.982,10	1.741,00	552.315,00	97,20	16,90	0,1	728,5	51,7	733,1	23.805	71,94%
Sant Vicenç dels Horts	28.117	3.083,00	648,20	437.876,00	92,50	15,80	1,2	256,4	40,3	300,3	20.196	71,83%
Sant Andreu de la Barca	27.558	5.010,60	809,00	430.225,00	91,60	15,90	0	280,2	35,3	394,4	18.010	65,35%
Barcelona (Ciutat)	1.636.762	16.149,60	75.892,40	33.785.259,00	122,40	21,00	20,00	5622,90	2477,80	58239,30		0,00%
Barcelona (Eixample)	265.910	36.267			149,8176	26,81					138.096	51,93%
Barcelona (Parc Vall Hebron)	171.082	18.140			81,396	14,56					77.536	45,32%
Barcelona (Gràcia - Sant Gervasi)	121.798	29.273			128,8872	23,07					60.219	49,44%
Barcelona (Palau Reial)	81.974	38.433			168,0552	30,06					51.986	63,42%
Barcelona (Ciudadella)	103.429	26.288			102,816	18,46					40.027	40,63%
Barcelona (Poblenou)	194.068	23.168			99,5724	17,82					90.023	46,39%
Barcelona (Sants)	184.091	8.272			103,5504	18,52					89.625	48,69%
Barcelona (Observatori Fabra)	149.260	7.590			223,7472	40,02					107.385	71,94%

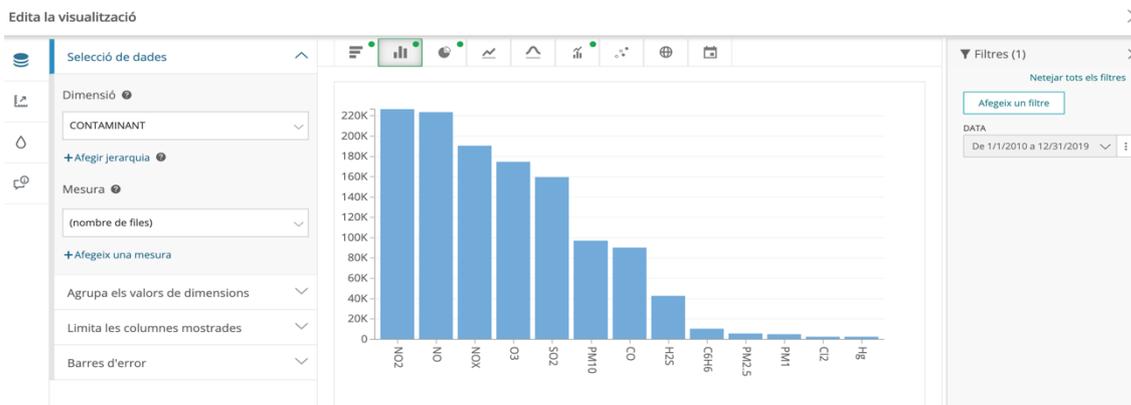
## A.3

### Base de dades 3 (Variables Climàtiques)

Nom Estació	Coordenades X (LON)	Coordenades Y (LAT)	TMM (° C)	VNT (m/s)	SOL (MJ/m2)
Terrassa	2,0073977	41,556114	15,27	2,32	16,76
Sabadell	2,1011107	41,561214	15,31	2,31	16,63
Lleida	0,6157005	41,615818	15,22	2,31	17,21
Tarragona Bonavista	1,1919986	41,11591	17,02	2,37	17,15
Tarragona Parc de la Ciutat	1,2427027	41,1174	16,96	2,36	17,13
Tarragona Uni. Laboral	1,2007992	41,103706	17,07	2,37	17,17
Tarragona St. Salvador	1,2396973	41,15951	16,82	2,35	17,10
Mataró	2,4432983	41,547176	16,18	2,39	16,82
Reus	1,1202013	41,150803	16,92	2,36	17,11
Girona (Escola de Música)	2,8165	41,976378	14,81	1,79	16,18
Girona (Part de la Devesa)	2,810553	41,984743	14,81	1,79	16,18
Manresa	1,8253	41,730292	14,76	2,31	16,86
Rubí	2,0424972	41,492115	15,53	2,27	16,59
Vilanova i la Geltrú	1,7211995	41,218987	16,41	2,21	16,91
Granollers	2,2870984	41,598682	15,58	2,39	16,77
Mollet del Vallès	2,2120984	41,549183	15,65	2,41	16,71
Vic	2,2400014	41,93501	13,05	2,26	16,78
Igualada	1,6230061	41,5784	15,52	2,30	16,89
Vilafranca del Penedès	1,6865987	41,346813	16,16	2,24	16,89
Sitges (Vallcarca)	1,856664	41,240815	16,44	2,13	16,89
Sitges (Vallcarca - Oficines)	1,859168	41,242247	16,44	2,13	16,89
Martorell	1,9212021	41,475384	15,64	2,29	16,76
Santa Perpètua de Mogoda	2,1838	41,526722	15,82	2,44	16,70
Vila-seca	1,1519431	41,111958	17,05	2,37	17,14
Amposta	0,5817011	40,706703	17,10	2,83	17,06
Manlleu	2,2872992	42,003307	13,34	2,24	16,76
Badalona	2,2378986	41,443985	16,99	2,63	16,86
Barberà del Vallès	2,2153984	41,512684	16,17	2,50	16,75
Cornellà de Llobregat	2,076113	41,35638	16,42	2,35	16,56
El Prat de Llobregat (Sagnier)	2,0821	41,321774	16,70	2,20	16,73
El Prat de Llobregat (Jardins de la Pau)	2,0977015	41,321487	16,70	2,20	16,73
Gavà	1,9914981	41,303097	16,49	1,97	16,85
L'Hospitalet de Llobregat	2,1149993	41,370476	17,27	2,53	16,52
Montcada i Reixac	2,1882975	41,48197	16,15	2,53	16,70
Montcada i Reixac (Can Sant Joan)	2,1758358	41,469826	16,02	2,57	16,60
Sant Adrià de Besòs	2,2221997	41,425594	16,96	2,61	16,79
Sant Andreu de la Barca	1,9748996	41,4508	15,70	2,30	16,65
Sant Cugat del Vallès	2,0889983	41,476814	15,61	2,31	16,50
Sant Feliu de Llobregat	2,0573997	41,386574	16,41	2,42	16,49
Sant Vicenç dels Horts	1,997202	41,400845	15,94	2,32	16,58
Sant Vicenç dels Horts (Ribot)	2,0097985	41,39219	16,07	2,28	16,61
Santa Coloma de Gramenet	2,209497	41,447422	16,81	2,63	16,79
Viladecans (Atrium)	2,0136087	41,31335	16,38	2,04	16,79
Barcelona (Eixample)	2,1537998	41,385315	17,77	2,51	16,68
Barcelona (Parc Vall Hebron)	2,148002	41,426109	16,37	2,69	16,56
Barcelona (Gràcia - Sant Gervasi)	2,1533988	41,39724	17,05	2,63	16,61
Barcelona (Palau Reial)	2,1151996	41,38749	17,27	2,53	16,52
Barcelona (Ciudadella)	2,1873982	41,386406	17,62	2,50	16,77
Barcelona (Poblenou)	2,204501	41,40388	17,09	2,57	16,79
Barcelona (Sants)	2,133099	41,37878	17,27	2,53	16,52
Barcelona (Observatori Fabra)	2,1238973	41,41843	15,79	2,76	16,42

## A.4

Quantitat de mesures per a cada un dels contaminants mesurats a través dels *Punts de Mesurament Automàtics de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA)*, pel període comprès entre l'any 2010 i l'any 2019.



## A.5

Taules preparades amb les mitjanes dels valors dels contaminants pels grups RCAT, AMB i BCNC. Els contaminants són, en ordre descendent, Diòxid de Nitrogen (NO<sub>2</sub>), Monòxid de Nitrogen (NO), Ozó (O<sub>3</sub>), Diòxid de Sofre (SO<sub>2</sub>), Monòxid de Carboni (CO), Òxids de Nitrogen (NO<sub>x</sub>) i Partícules en suspensió (Ø10) (PM<sub>10</sub>).

NO <sub>2</sub>	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	32,000944	30,256608	29,237229	27,606642	25,733825	28,665418	25,727683	27,260677	24,293593	23,568475
AMB	37,82783	36,00136	35,639591	31,866029	32,534546	33,87895	31,28856	33,168238	31,20868	30,965309
BCNC	46,89813	48,125606	44,344174	40,026122	38,851726	43,18588	39,196206	42,110226	34,674055	32,704344

NO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	17,260751	17,686941	16,503768	14,660729	13,925952	16,531025	14,136265	15,479647	12,803523	11,29103
AMB	18,905544	18,205006	17,430015	14,241102	15,656988	17,374615	14,983094	15,810949	14,56669	13,385958
BCNC	18,47528	22,768129	18,870946	16,875047	16,747298	20,704741	16,664981	17,550858	13,975892	11,99487

O <sub>3</sub>	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	48,096182	47,787382	49,967058	52,500411	50,162928	49,19078	49,472606	49,500244	50,103629	52,040015
AMB	44,683697	43,824533	44,392088	48,910067	45,214734	47,583654	46,269609	44,083818	44,949098	45,816748
BCNC	44,589508	39,659944	44,308785	47,537123	45,563136	45,681426	48,515909	44,670521	44,406434	52,766532

SO <sub>2</sub>	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	2,6078458	2,9405297	2,7326996	2,8307956	2,7316755	2,6786608	2,6052152	2,6689385	2,2721736	2,4494163
AMB	2,8362222	2,7682961	2,7125057	2,4714248	2,8550241	2,8838053	2,8095709	2,8089569	3,0024712	3,6531555
BCNC	2,494211	4,1340809	2,8835481	2,4969354	2,0680758	2,445594	2,0729338	2,1858646	1,7581349	1,5812407

CO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	0,3427462	0,3338696	0,3280614	0,316824	0,3043167	0,3301849	0,3039153	0,3129514	0,2753029	0,3054159
AMB	0,3826245	0,3492098	0,3277442	0,2933273	0,3364619	0,3331703	0,3272242	0,2832464	0,265453	0,281198
BCNC	0,4265132	0,5521784	0,4772965	0,4483748	0,3974648	0,488302	0,4342484	0,3819683	0,3617587	0,3376871

NO <sub>x</sub>	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	75,356129	73,418651	53,993206	49,395557	47,952627	53,314956	46,766285	48,954752	43,420133	40,096302
AMB	77,031236	73,734564	68,863626	59,536262	61,621931	60,012158	53,18398	56,826471	53,251192	51,126572
BCNC	69,305329	81,833364	72,426927	65,375361	64,066244	74,442788	64,228351	68,496073	55,634039	50,880203

PM <sub>10</sub>	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	23,568066	25,86892	24,937684	19,727359	22,218197	24,412424	22,187393	22,405474	20,665224	21,585335
AMB	31,718059	31,645133	30,770207	25,319845	27,03229	29,68591	25,317042	25,169745	23,917411	23,71725
BCNC		33,445165	31,941011	25,68123	28,490831	29,409606	23,987104	24,437257	21,764311	23,682127

## A.6

Taules i gràfiques preparades per registrar a partir de quants valors s'han preparat les mitjanes de l'apèndix 4. Els contaminants són, en ordre descendent, Diòxid de Nitrogen (NO<sub>2</sub>), Monòxid de Nitrogen (NO), Ozó (O<sub>3</sub>), Diòxid de Sofre (SO<sub>2</sub>), Monòxid de Carboni (CO), Òxids de Nitrogen (NO<sub>x</sub>) i Partícules en suspensió (Ø10) (PM<sub>10</sub>).

Taula de valors:

NO2	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	21	22	22	22	22	22	23	21	21	22
AMB	13	14	15	14	15	14	15	14	14	14
BCNC	5	6	7	7	7	7	7	7	8	8

NO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	21	22	22	22	18	15	16	16	16	16
AMB	13	14	15	14	15	14	15	14	14	14
BCNC	5	6	7	7	7	7	7	7	8	8

O3	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	18	15	16	16	16	16	16	16	15	16
AMB	11	8	8	7	8	8	8	8	8	8
BCNC	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6

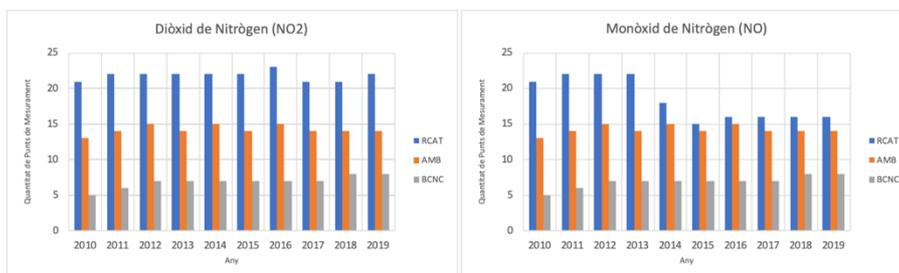
SO2	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	20	18	18	17	15	15	15	15	14	15
AMB	13	9	9	10	9	9	9	9	9	8
BCNC	5	3	4	4	4	4	4	4	4	4

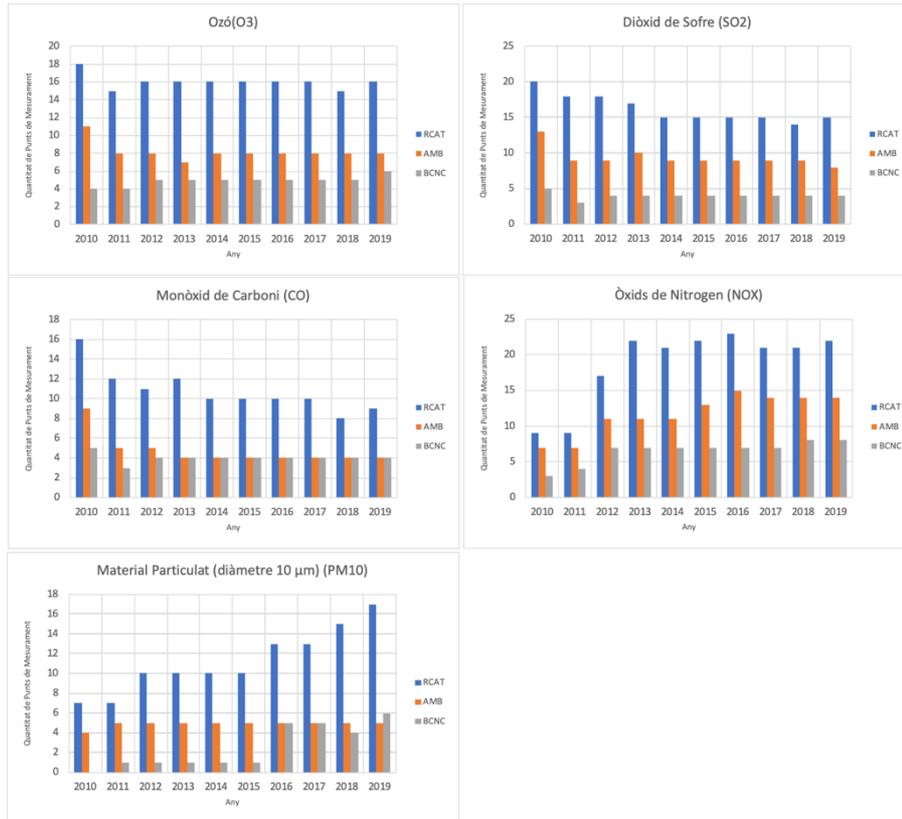
CO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	16	12	11	12	10	10	10	10	8	9
AMB	9	5	5	4	4	4	4	4	4	4
BCNC	5	3	4	4	4	4	4	4	4	4

NOX	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	9	9	17	22	21	22	23	21	21	22
AMB	7	7	11	11	11	13	15	14	14	14
BCNC	3	4	7	7	7	7	7	7	8	8

PM10	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
RCAT	7	7	10	10	10	10	13	13	15	17
AMB	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BCNC	0	1	1	1	1	1	5	5	4	6

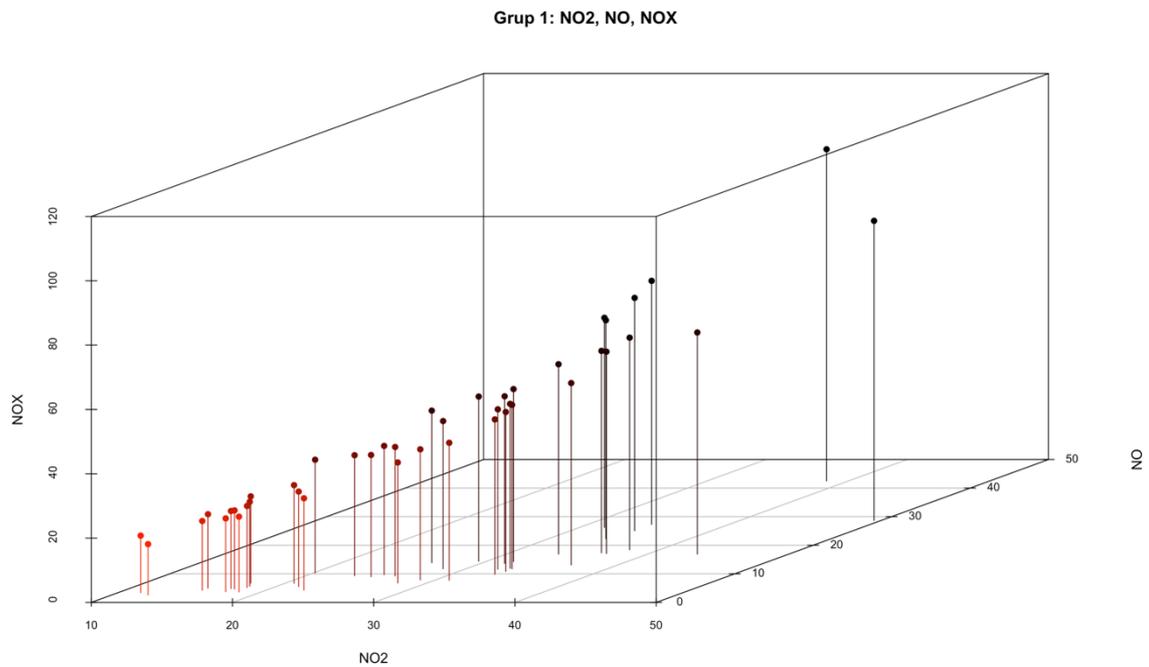
Gràfiques:





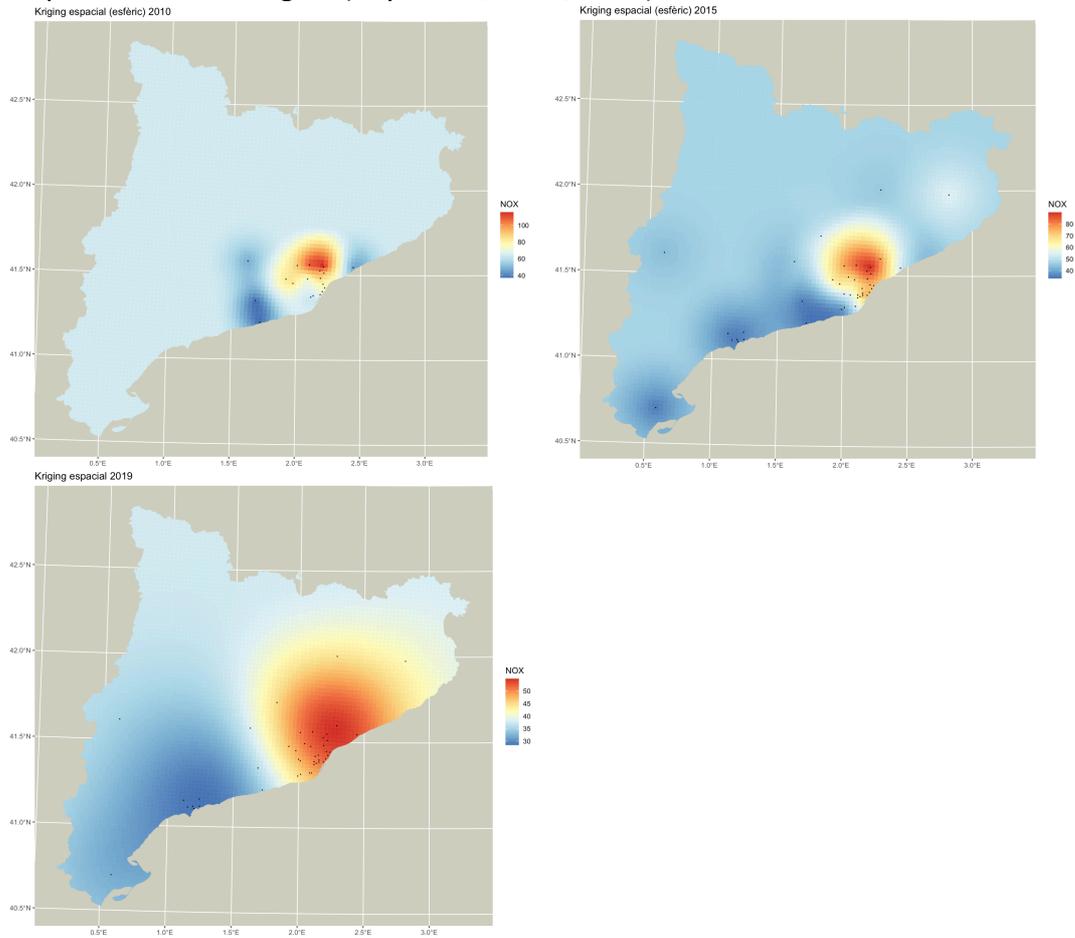
## A.7

Gràfica en tres dimensions dels contaminants inclosos en el Grup 1 de l'anàlisi clúster.





### Mapes de calor obtinguts (anys 2010, 2015, 2019):

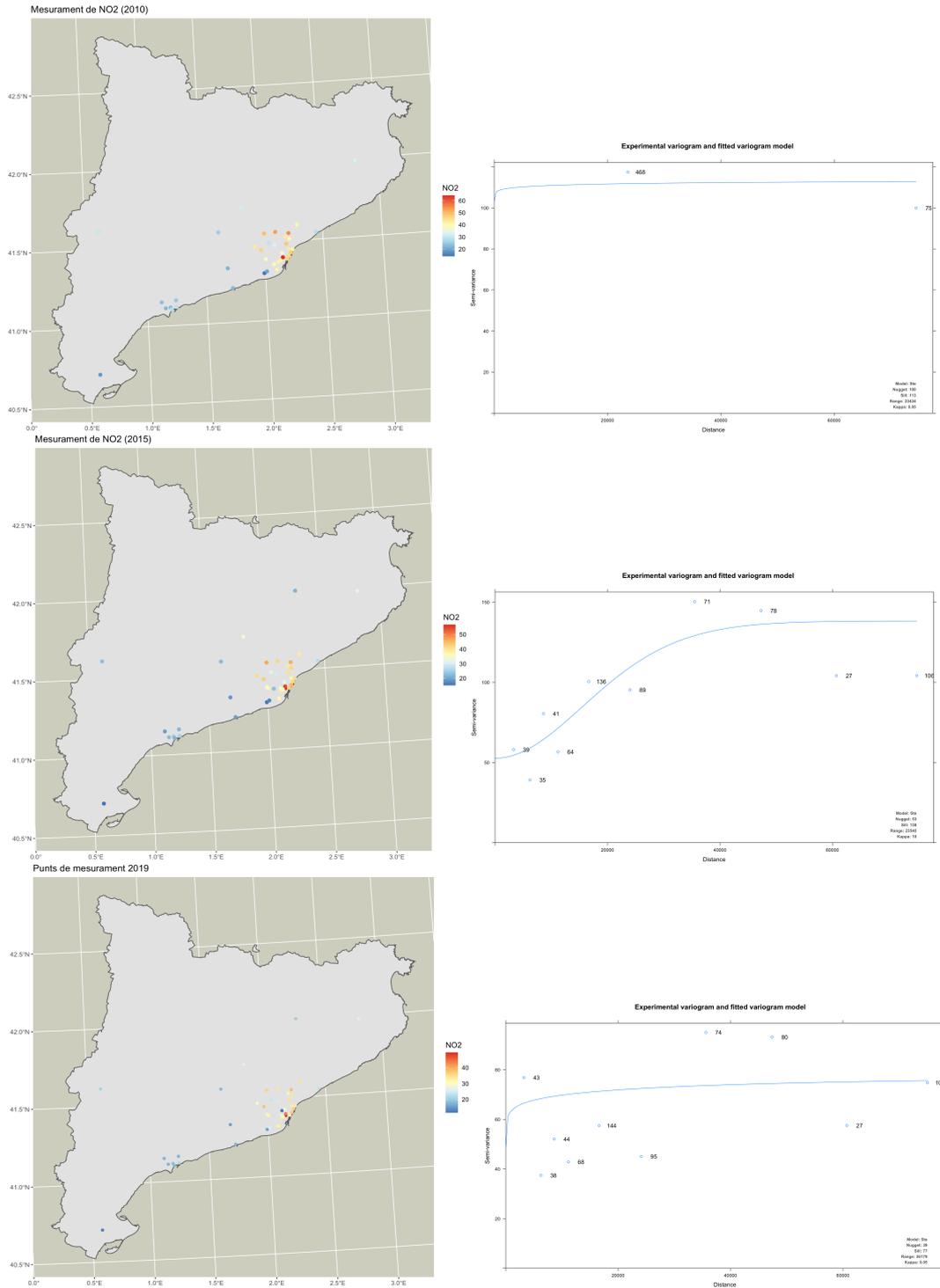


## A.9

Ggplots i variogrames experimentals obtinguts pels contaminants NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub> i SO<sub>2</sub>.

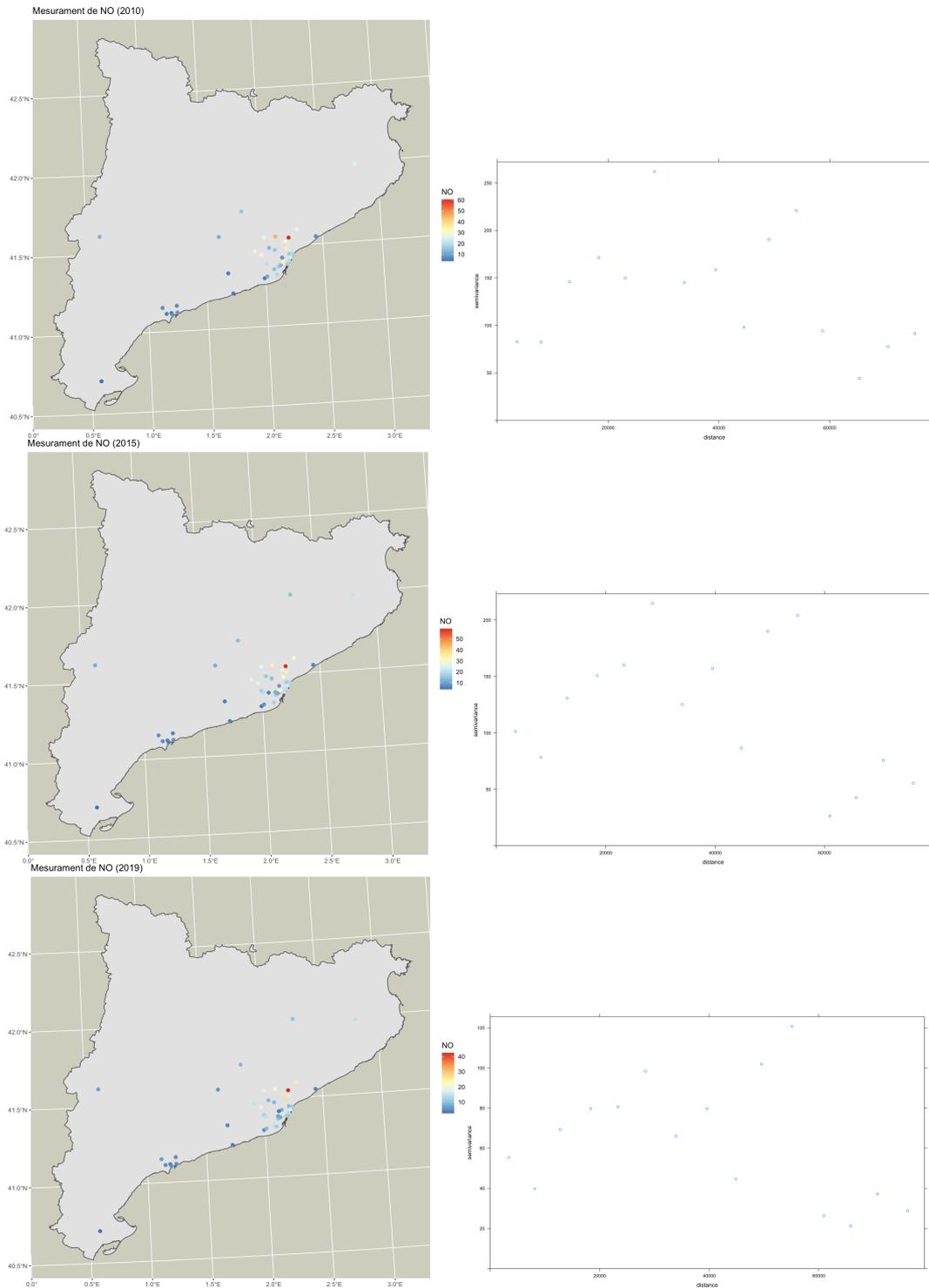
### A.9.a - Dixòxid de Nitrogen (NO<sub>2</sub>)

A l'esquerra, ggplot; a la dreta, variogrames experimentals; anys 2010, 2015, 2019



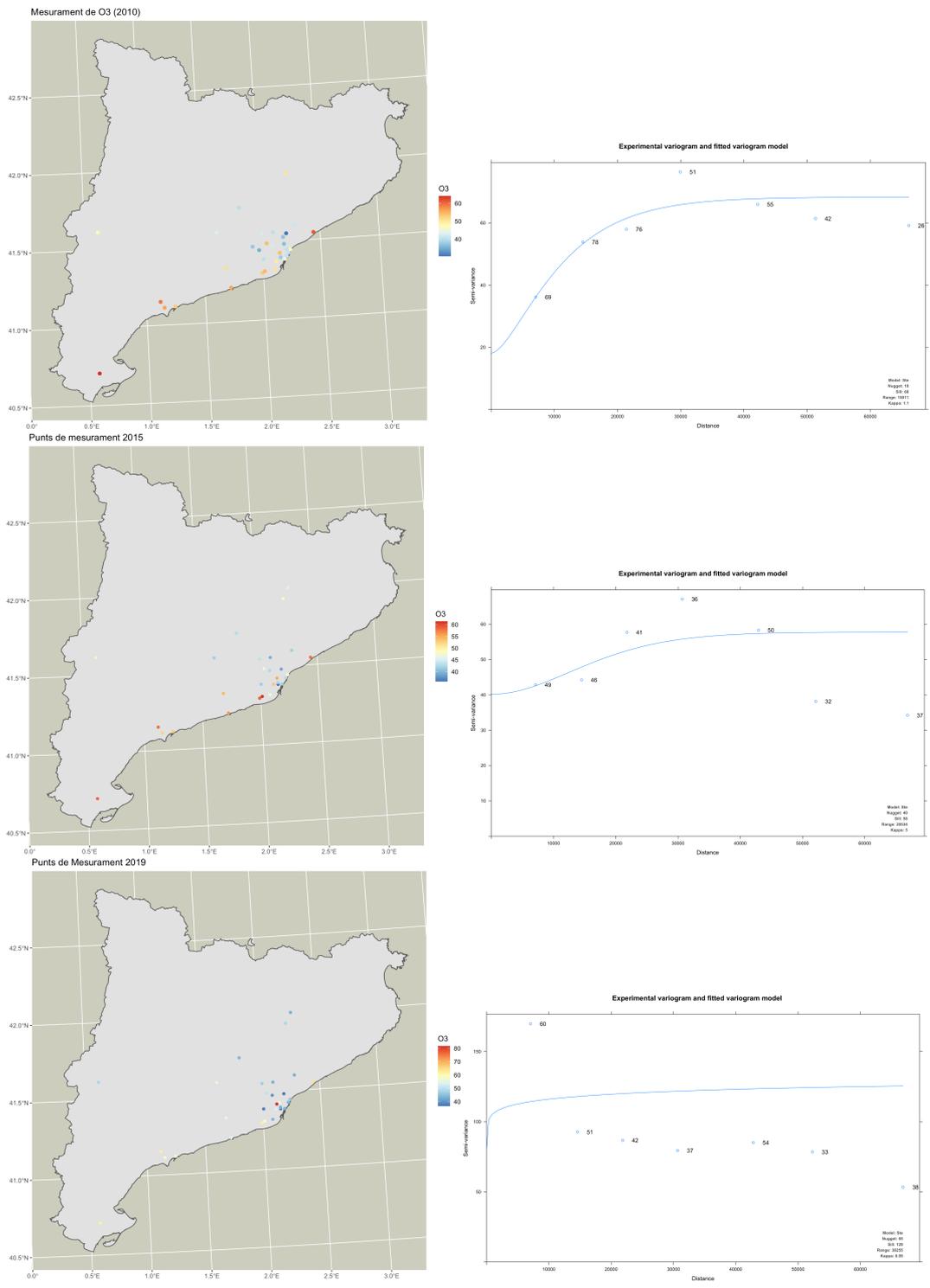
### A.9.b - Monòxid de Nitrogen (NO)

A l'esquerra, ggplot; a la dreta, variogrames experimentals; anys 2010, 2015, 2019



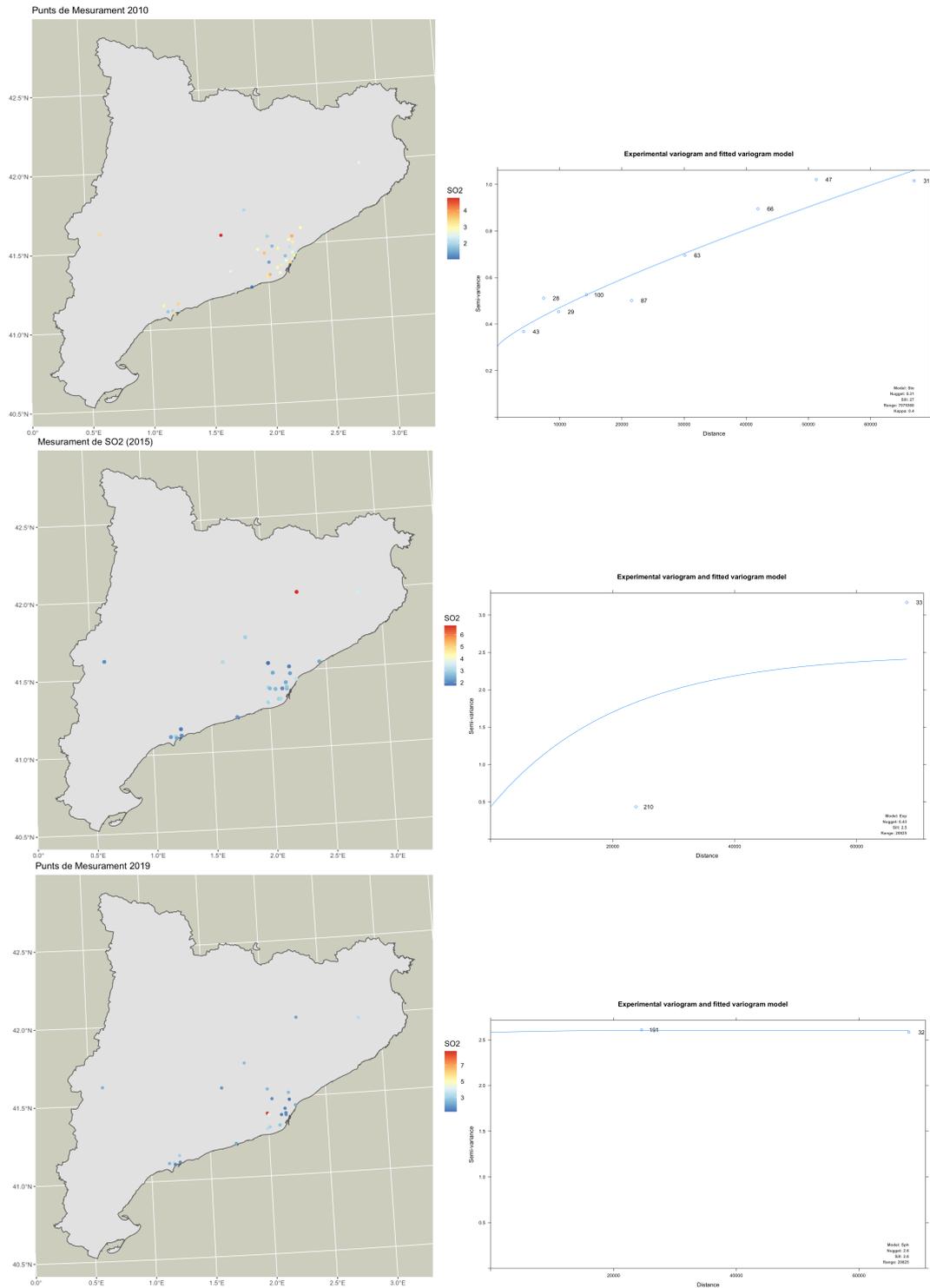
### A.9.c- Ozó Troposfèric (O<sub>3</sub>)

A l'esquerra, ggplot; a la dreta, variogrames experimentals; anys 2010, 2015, 2019



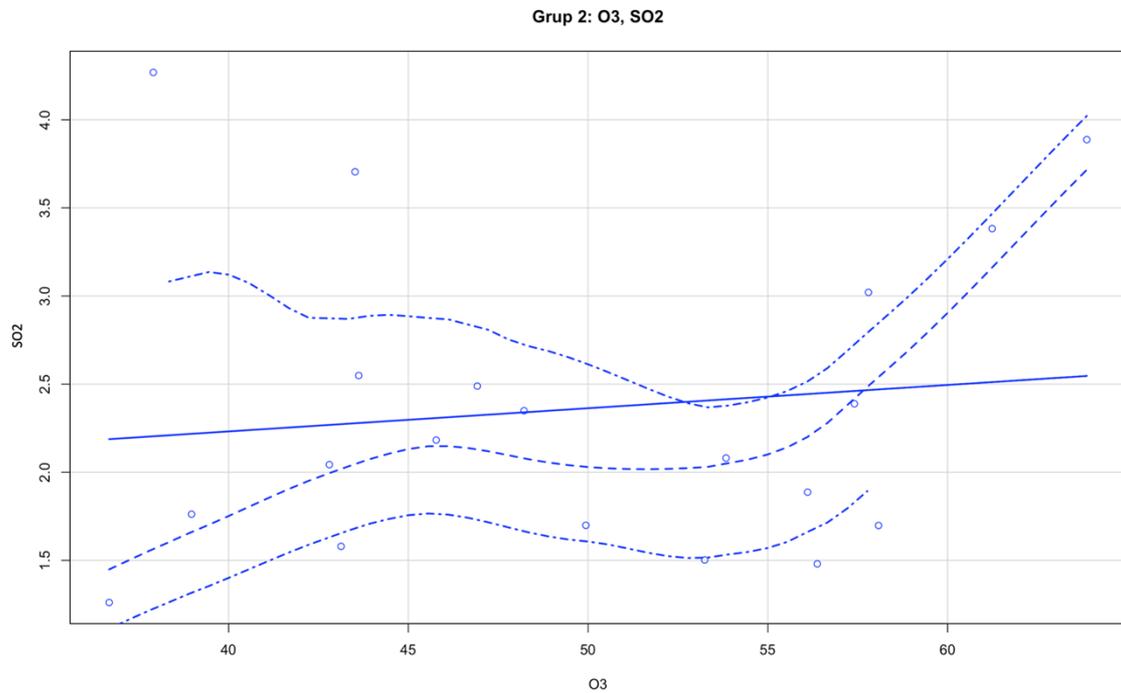
### A.9.d- Diòxid de Sofre (SO<sub>2</sub>)

A l'esquerra, ggplot; a la dreta, variogrames experimentals; anys 2010, 2015, 2019



## A.10

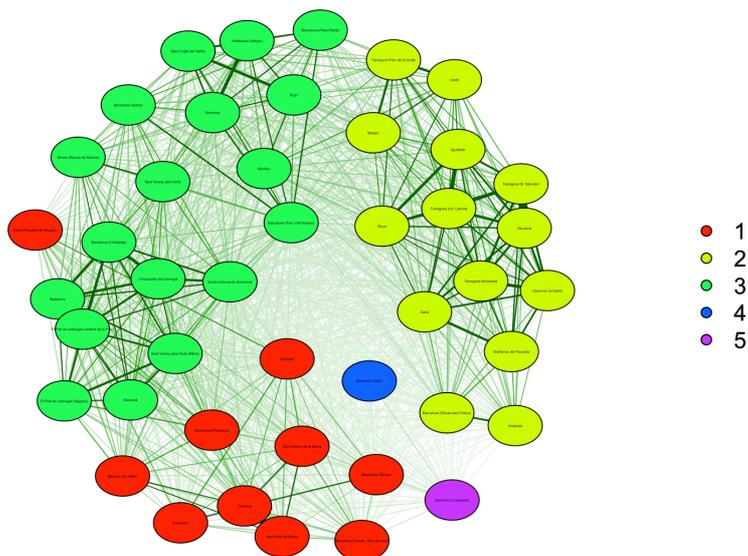
Scatterplot realitzat pels contaminants inclosos en el Grup 2 de l'anàlisi clúster.



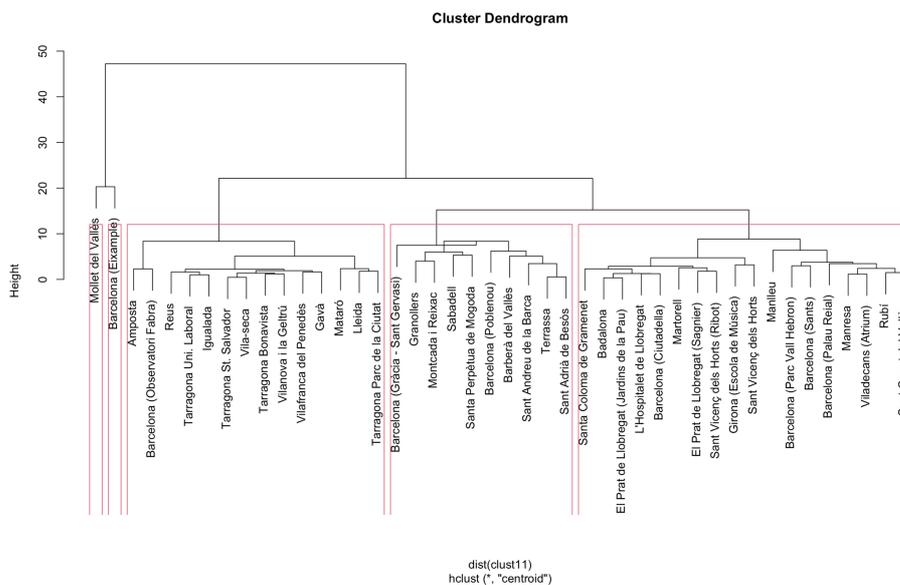
## A.11

Gràfics de xarxes – *qgraph* – i dendrograma elaborat pel Grup 1 de contaminants utilitzant la distància euclidiana i el mètode *Centroid* (K=5).

Gràfic de xarxes:



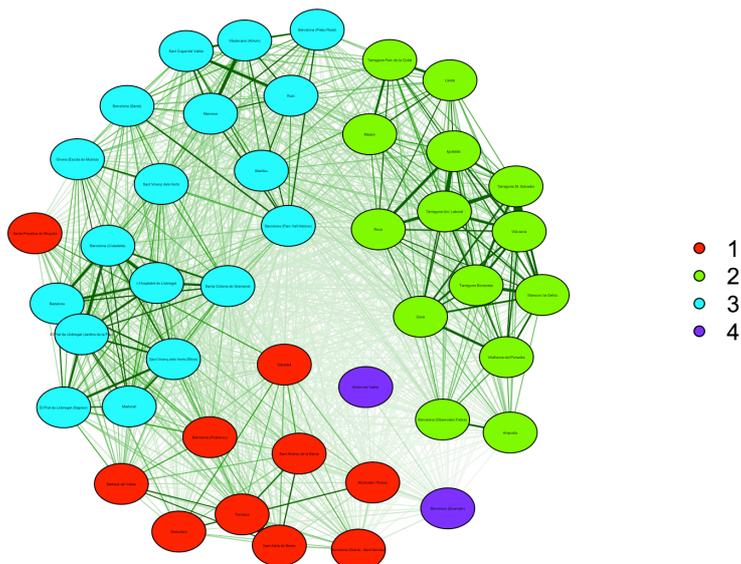
## Dendrograma:



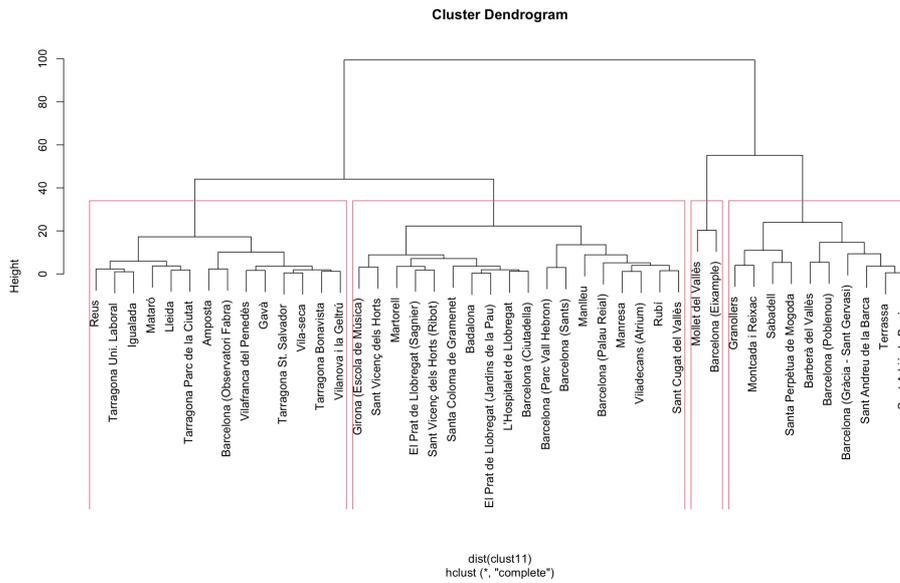
### A.12

Gràfics de xarxes – *qgraph* – i dendrograma elaborat pel Grup 1 de contaminants utilitzant la distància euclidiana i el mètode *Complete* (K=4).

Gràfic de xarxes:



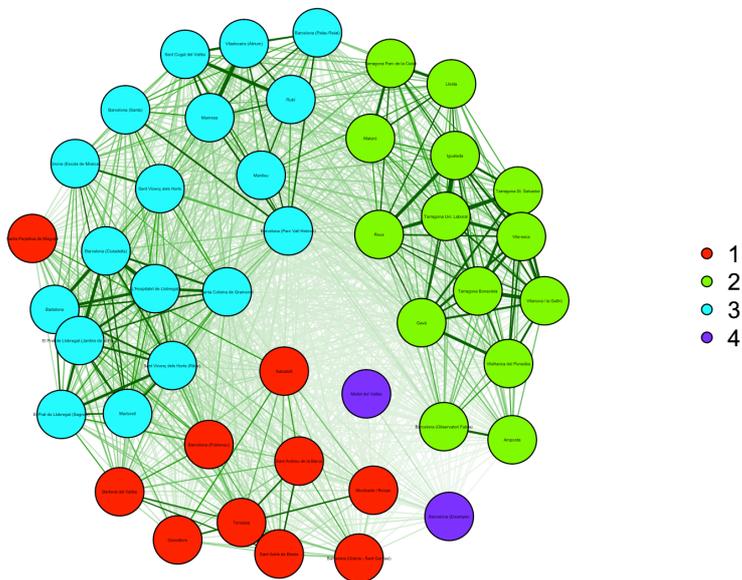
### Dendrograma:



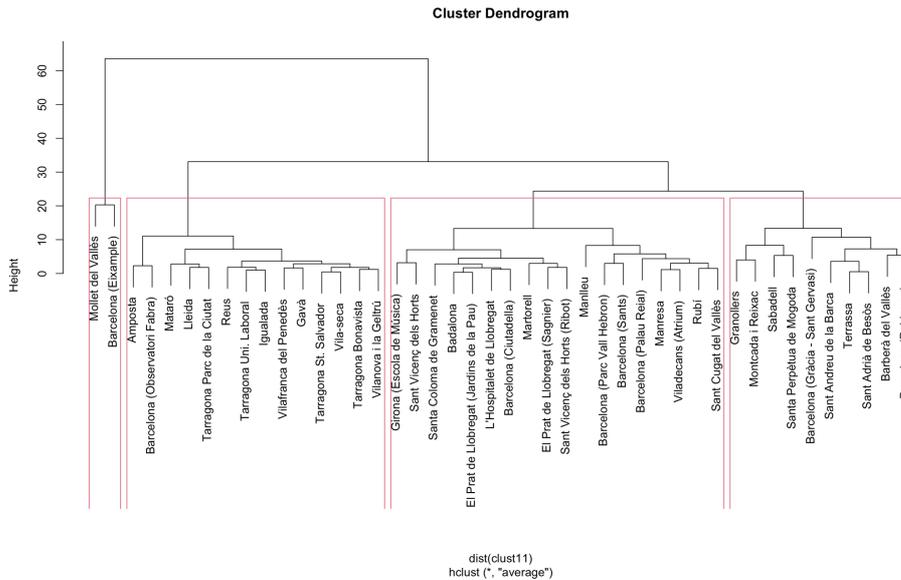
### A.13

Gràfics de xarxes – *qgraph* – i dendrograma elaborat pel Grup 1 de contaminants utilitzant la distància euclidiana i el mètode *Average*.

Gràfic de xarxes:

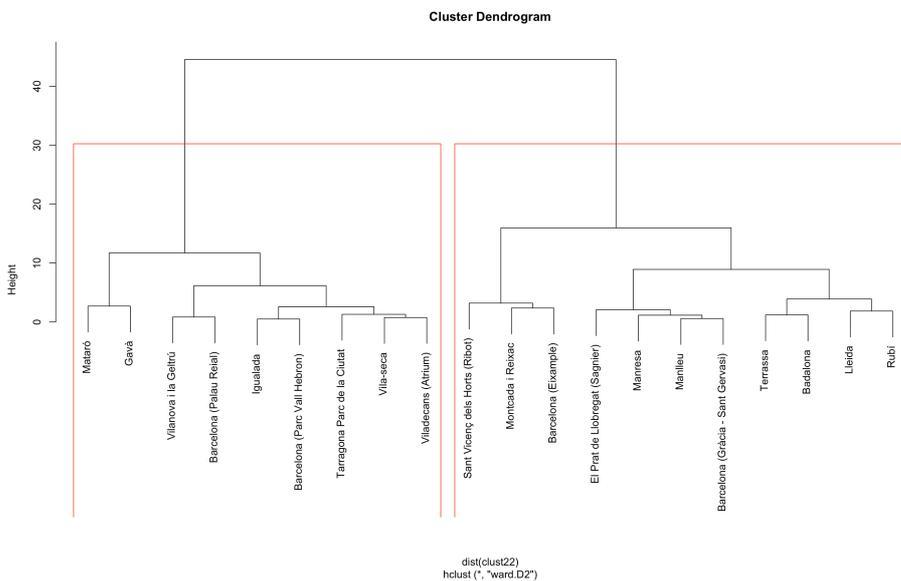


## Dendrograma:



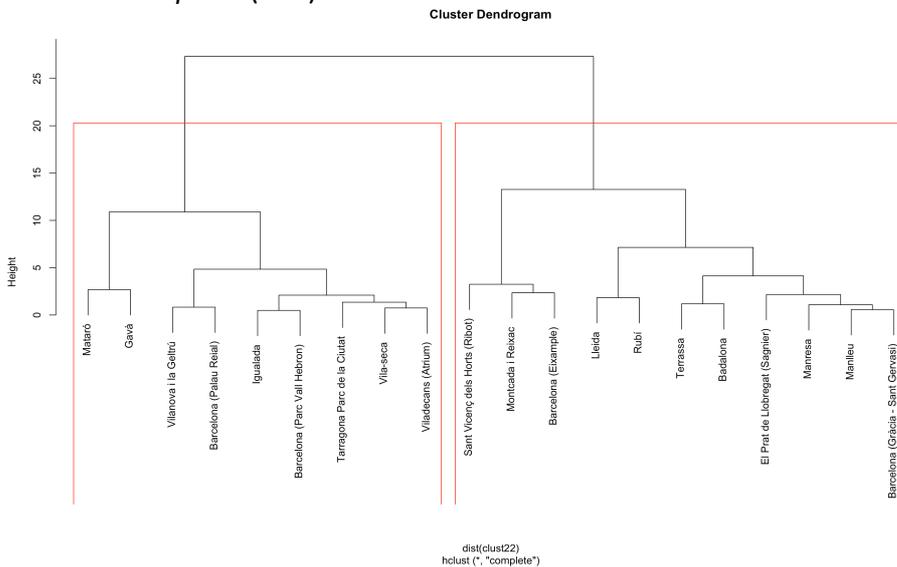
### A.14

Dendrograma elaborat pel Grup 2 de contaminants utilitzant la distància euclidiana i el mètode *Ward.D2* (K=2).



### A.15

Dendrograma elaborat pel Grup 2 de contaminants utilitzant la distància euclidiana i el mètode *Complete* (K=2).



### A.16

Dendrograma elaborat pel Grup 2 de contaminants utilitzant la distància euclidiana i el mètode *Average* (K=5).

