



4sfera Innova SLU

<http://www.4sfera.com>

**Estudi dels nivells de NO₂ a la ciutat de
Girona - any 2018**

Jaume Targa (4sfera Innova)

Estudi dels nivells de NO₂ a la ciutat de Girona - any 2018

4sfera Innova SL
B55061873
C/Maluquer Salvador 2, 6, 1
Girona - cp 17002
Catalunya - Espanya
Web: www.4sfera.com

Autor: Jaume Targa
Tel.: +34 679380101
Email: jaume.targa@4sfera.com

Estudi dels nivells de NO₂ a la ciutat de Girona - any 2018

Abstracte

L'Ajuntament de Girona ha establert una xarxa semi-permanent per la mesura de la qualitat de l'aire a la ciutat. L'objectiu d'aquesta xarxa, gestionada per 4sfera Innova, és avaluar els nivells de diòxid de nitrogen (NO₂) a la ciutat de Girona, com a indicador de la contaminació atmosfèrica de la ciutat. Aquest document presenta les dades finals obtingudes durant l'any 2018 dels nivells de NO₂ a l'aire de la ciutat.

La xarxa utilitza tubs passius de difusió de NO₂, establert com a mètode indicatiu segons la Directiva 2008/50/CE. Aquest mètode està molt estès al Regne Unit per estudis similars i la majoria d'ajuntaments tenen xarxes permanents per a la mesura de NO₂.

L'avaluació de la qualitat de l'aire ha trobat que els nivells de contaminació a la ciutat de Girona varien segons la localització dels punts de mesura. Tot i que el mètode utilitzat en l'avaluació és indicatiu amb una exactitud del 25%, els nivells mesurats s'han comparat al Llíndar d'Avaluació Inferior (LAI), Llíndar d'Avaluació Superior (LAS) i Valor Límit (VL).

Els resultats s'han ajustat segons els nivells mesurats a l'estació automàtica de Girona (Escola de Música) del Departament de Territori i Sostenibilitat (Generalitat de Catalunya). Les dades s'han obtingut durant 4 períodes de l'any 2018.

La xarxa cobreix diferents punts a Girona per tenir un coneixement de la variació de nivells de contaminació arreu de la ciutat. S'han mostregjat 18 punts arreu de la ciutat durant 4 períodes d'unes 4-5 setmanes. La tipologia de cada punt de mostreig inclou fons urbans/sub-urbans, punts amb trànsit intens, moderat o baix, punts amb molta bona o poca dispersió, etc

S'ha estimat que els nivells als quals la majoria de la població de la ciutat està exposada són nivells saludables. Aquests estan per sota del valor límit de 40 µg/m³. Tot i això, també s'han identificat punts vulnerables pròxims a vies molt transitades, amb congestió important i/o molt estrets.

Els nivells de fons, tan urbans com suburbans, s'han mesurat per sota de 32 µg/m³ (<LAS). Els nivells obtinguts en altres punts de la ciutat varien d'entre 32 i 40 µg/m³

(LAS-VL) i superiors a 40 ug/m³ (VL). Aquesta variació és deguda a la quantitat de trànsit i a la distància del punt de mesurament a la font de contaminació.

Alguns dels punts localitzats a prop del trànsit podrien indicar nivells alts de NO₂ per damunt del VL. Els punts amb nivells més elevats es localitzen en aquelles vies amb gran número de vehicles i més congestionades. A més a més, són carrers o trams de carrers molt estrets amb un número de vehicles considerable amb poca dispersió de l'aire.

L'estudi indica nivells variables de contaminació a la ciutat de Girona que oscil·len entre 22.9 i 68.6 ug/m³.

Els nivells alts es concentren en els punts de trànsit tant de vies internes com a vies que travessen la ciutat. *Els nivells de NO₂ en punts de trànsit a Girona oscil·len entre 28.7 i 68.6 ug/m³ i és degut a la quantitat de vehicles motoritzats circulant al voltant i dins de la ciutat.*

Tots les punts de fons són inferiors al valor límit de 40 ug/m³. *Els nivells de fons lluny de vies principals oscil·la entre 22.9 i 30.2 ug/m³. Aquests nivells tendeixen a ser representatius de zones més amples on està exposada més població que no els punts de trànsit. Els nivells de fons estan amb concordança amb els nivells de fons d'altres ciutats similars a Girona.*

1 Introducció

L'Ajuntament de Girona ha creat una xarxa semi-permanent per avaluar les concentracions de diòxids de nitrogen (NO₂) a l'aire mitjançant captadors passius a la ciutat de Girona. Aquest estudi està portat a terme per 4sfera Innova (4sfera).

La creació d'aquesta xarxa venia recomanada després d'un projecte de col·laboració entre l'Ajuntament de Girona i la Universitat d'Oxford Brookes i dos estudis realitzats per l'Ajuntament de Girona i pel Departament de Territori i Sostenibilitat (DTS) entre el 2007 i el 2008 (Targa, 2009). L'any 2010 l'Ajuntament de Girona va continuar l'estudi amb la creació d'una xarxa semi-permanent a la ciutat (Targa, 2011). En aquests estudis s'identifiquen diferents punts conflictius dins la ciutat on sembla indicar la possible superació del valor límit de la mitjana anual en nivells de diòxid de nitrogen (NO₂). La xarxa semi-permanent és necessària per valorar el risc d'aquestes superacions.

A través de 4sfera, i amb col·laboració amb el personal de l'Ajuntament de Girona, s'ha creat un xarxa semi-permanent per la mesura dels nivells de la qualitat de l'aire a la ciutat de Girona. Aquesta xarxa complementa l'estació fixa de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA).

L'objectiu d'aquesta xarxa de vigilància és:

- Identificar la variació espacial dels nivells de NO₂
- Obtenir els nivells de fons de la ciutat de Girona
- Identificar la importància del trànsit rodats dins de Girona

Els resultats d'aquest estudi estan resumits en aquest treball. Aquest informe inclou una introducció a la [contaminació atmosfèrica](#), especialment al diòxid de nitrogen, un resum de la [legislació vigent](#), una descripció del [mètode](#) utilitzat en l'estudi, la presentació dels [resultats](#) obtinguts amb la conseqüent discussió i [conclusions](#) de l'estudi.

2 La contaminació atmosfèrica

La contaminació de l'aire és un problema global amb conseqüències locals, ja que afecta la salut de les persones i els ecosistemes. Les accions efectives per reduir la contaminació atmosfèrica, i per tant el seu impacte, requereixen un bon coneixement de les seves causes: quines són les principals fonts de contaminació, i com es transporten i transformen els contaminants a l'atmosfera. A més a més, la col·laboració i coordinació d'accions a nivell internacional, nacional i local és fonamental per tal de disminuir la contaminació de l'aire. Després del canvi climàtic, la contaminació atmosfèrica és la preocupació més gran que tenen els europeus en matèria de medi ambient (EuropeanCommission 2017).

En els últims anys la majoria de la població europea que viu en zones urbanes ha estat respirant aire contaminat, que incompleix els valors de referència recomanats per la directiva de la Unió Europea (UE) i per l'Organització Mundial de la Salut (OMS) (EuropeanEnvironmentAgency 2018). S'estima que l'exposició a una mala qualitat de l'aire causa al voltant de 400.000 morts prematures a l'any a Europa (Lim 2012; WHO 2014, 2016; GBD 2016 Risk Factors Collaborators 2017; HEI 2018). A més a més, l'exposició a curt i llarg termini de nens i adults a la contaminació atmosfèrica pot reduir la capacitat pulmonar, provocar infeccions respiratòries, i agreujar l'asma, entre altres malalties. També s'ha observat que l'exposició de dones embarassades a una mala qualitat de l'aire afecta el desenvolupament dels fetus (WHO 2005, 2013).

Segons l'informe anual de la qualitat de l'aire a Catalunya realitzat pel Departament de Territori i Sostenibilitat mitjançant les dades oficials registrades en les estacions de referència (GeneralitatDeCatalunya 2018), els contaminants més problemàtics a Catalunya durant el 2018 van ser les partícules en suspensió (PM₁₀), el diòxid de nitrogen (NO₂), l'ozó troposfèric (O₃) i el sulfur d'hidrogen (H₂S).

2.1 El diòxid de nitrogen (NO₂)

El diòxid de nitrogen és un gas format per dos àtoms d'oxigen i un de nitrogen. És de color marronós i té una olor forta. És un dels elements que forma el boirum fotoquímic i precursor de l'àcid nítric, que és un dels constituents de la pluja àcida, a més a més és precursor de partícules secundàries. La principal font d'emissió del NO₂ és la

combustió, tant l'antropogènica, derivada del transport (terrestre, aeri i/o marítim) i la indústria, com la natural, procedent de la crema de biomassa i/o altres processos naturals (volcans, ...). La quantitat de NO₂ emesa depèn de les condicions de la combustió i de la quantitat de combustible cremat. En concentracions superiors a 200 µg/m³ (valor límit horari segons la normativa europea) el NO₂ provoca una inflamació significativa de les vies respiratòries. Estudis epidemiològics mostren que una exposició prolongada a concentracions elevades de NO₂ augmenta els símptomes de bronquitis en nens asmàtics i una reducció de la funció pulmonar de la població sana.

2.2 Directives Europees

A causa d'aquestes conseqüències per a la salut, el medi ambient i la degradació de la qualitat de l'aire urbà, degut a l'increment de l'activitat humana, s'ha creat legislació pels contaminants més importants. Per exemple, la Unió Europea ha introduït diverses directives per establir nivells estàndards i objectius per anys futurs. Les concentracions de diòxid de nitrogen (NO₂) a l'aire ha estat regulada a Europa des de l'any 1995 amb la Directiva 85/203 i amb la Directiva Filla 1999/30 des del gener de 2000. Actualment, l'avaluació de la qualitat de l'aire es fa d'acord amb la legislació vigent (Directiva 2008/50/CE). Els estats membres han hagut d'adoptar aquestes directives per tal de prevenir els efectes coneguts per a la salut i el medi ambient anteriorment esmentats. A l'estat Espanyol, aquesta la Directiva 2008/50/CE ha sigut transposada amb el Reial Decret 102/2011.

Aquestes lleis tenen com a objectiu establir estàndards a que cada estat hauria d'arribar per tal de protegir les persones dels efectes del diòxid de nitrogen i contribuir a la protecció del medi ambient a llarg termini. La UE requereix mètodes precisos i acurats per mesurar les immissions de NO₂ per tots els estat membres. Per tal de complir amb les directives esmentades, les mesures de diòxid de nitrogen s'han d'obtenir utilitzant el mètode de referència de quimioluminescència. Per aquesta raó, xarxes automàtiques de mesura s'han hagut d'implementar per tota la Comunitat Europea. A Catalunya el responsable d'avaluar la qualitat de l'aire és el Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya, a partir de les dades recollides amb la Xarxa de Vigilància i Prevenció de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA). Les dades recollides amb la XVPCA se centralitzen al Servei de Vigilància i Control de l'Aire per

avaluar la qualitat de l'aire i ser enviades al Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) de l'Administració de l'Estat, a l'Agència Europea del Medi Ambient (EEA) i a la Comissió Europea (EC).

A part de la tècnica automàtica de quimioluminescència necessària per complir amb les directives europees mencionades per avaluar els nivells estàndards, una altra metodologia anomenada indicativa pot ser utilitzada per mesurar les immissions de diòxid de nitrogen. La secció Metodologia amplia la informació d'aquest mètode utilitzat en aquest estudi.

3 Legislació de referència per avaluar la qualitat de l'aire

L'objectiu de la legislació en matèria de contaminació atmosfèrica és preservar la qualitat de l'aire a fi d'evitar, prevenir o reduir els potencials efectes nocius que la presència de determinats compostos a l'aire pugui ocasionar en la salut humana i el medi ambient en el seu conjunt. Per assolir aquesta finalitat la legislació estableix els instruments necessaris per:

- Limitar les emissions a l'atmosfera d'agents contaminants.
- Definir i establir uns valors de referència per als nivells de contaminació a l'aire ambient (nivells d'immissió).

Per fer la valoració de l'estat de la qualitat de l'aire, es comparen els valors mesurats en el territori amb uns nivells de referència que estableix la legislació.

3.1 Normativa vigent

La legislació espanyola sobre qualitat de l'aire actualment en vigor ve representada per les següents normes:

- Llei 34/2007, de 15 de novembre, de qualitat de l'aire i protecció de l'atmosfera.
- Reial Decret 102/2011, de 28 de gener, relatiu a la millora de la qualitat de l'aire.

A continuació es destaquen aquells apartats relacionats amb el diòxid de nitrogen i l'avaluació de la qualitat de l'aire.

3.1.1 Llei 34/2007

La Llei 34/2007 actualitza la base legal per als desenvolupaments relacionats amb l'avaluació i la gestió de la qualitat de l'aire a Espanya, i té com a fi últim el d'aconseguir uns nivells òptims de qualitat del aire per evitar, prevenir o reduir riscos o efectes negatius sobre la salut humana, el medi ambient i altres béns de qualsevol naturalesa. Mitjançant la mateixa s'habilita el Govern a definir i establir els objectius de qualitat de l'aire i els requisits mínims dels sistemes d'avaluació de la qualitat de l'aire, i serveix de marc regulador per a l'elaboració dels plans nacionals, autonòmics i locals per a la millora de la qualitat de l'aire.

S'hi estableixen, doncs, els principis essencials en matèria de prevenció, vigilància i reducció de la contaminació atmosfèrica. Val la pena destacar els següents:

- Els fonaments de l'avaluació i gestió de la qualitat del aire, basat en tres pilars: els contaminants a avaluar i els seus objectius de qualitat (article 9), les obligacions de l'avaluació (article 10), i la zonificació del territori (article 11), segons els nivells de contaminants per als quals s'hagin establerts objectius de qualitat.
- La planificació, centrada en l'elaboració de plans i programes per a la protecció de l'atmosfera i per minimitzar els efectes negatius de la contaminació atmosfèrica (art. 16).
- El deure de les comunitats autònomes i, si escau, entitats locals, de disposar d'estacions, xarxes i altres sistemes d'avaluació de la qualitat de l'aire suficients per al compliment de les seves obligacions, d'acord amb el que indica la norma (art. 28).

3.1.2 Reial Decret 102/2011

Es destaca la norma del Reial Decret 102/2011, ja que resulta essencial en l'avaluació i gestió de la qualitat de l'aire a Espanya.

El Reial Decret 102/2011, de 28 de gener, relatiu a la millora de la qualitat de l'aire, transposa a l'ordenament jurídic espanyol el contingut de la Directiva 2008/50/CE, de 21 de maig del 2008. S'aprova amb la finalitat d'evitar, prevenir i reduir els efectes nocius de les substàncies esmentades sobre la salut humana, el medi ambient en el seu conjunt i altres béns de qualsevol naturalesa, el que al seu torn comporta la consecució de diversos objectius parcials:

- Definir i establir objectius de qualitat de l'aire pel que fa a les concentracions de diòxid de sofre, diòxid de nitrogen i òxids de nitrogen, partícules, plom, benzè, monòxid de carboni, ozó, arsènic, cadmi, níquel i benzo (a) pirè en l'aire ambient;
- Determinar la informació a la població i a la Comissió Europea sobre les concentracions i els dipòsits de les substàncies esmentades en els apartats anteriors, el compliment dels seus objectius de qualitat de l'aire, els plans de millora i altres aspectes regulats en la norma;

Per a això, el Reial Decret:

- Defineix les actuacions a dur a terme, en l'àmbit de les seves respectives competències, per les Administracions públiques, en concret, per l'actual Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient (a través de la Direcció General de Qualitat i Avaluació Ambiental i Medi Natural i de l'Agència Estatal de Meteorologia), per l'Institut de Salut Carlos III, i per les comunitats autònomes i entitats locals (article 3);
- Determina els Objectius de Qualitat de l'Aire per a cada un dels contaminants regulats (és a dir, SO₂, NO₂ I NO_x, PM₁₀, PM_{2,5}, Pb, C₆H₆, CO, O₃, As, Cd, Ni i B(a)P), així com els criteris d'agregació i càlcul corresponents (article 4 i Annex I).
- Estableix l'obligació de dividir el territori de les diferents comunitats autònomes en zones i aglomeracions, en les que es duran a terme les activitats d'avaluació i gestió de la qualitat de l'aire (article 5).

De forma resumida, posa les bases de l'avaluació de la qualitat de l'aire, enfocada a tres tipus de contaminants o grups de contaminants:

- Avaluació de la qualitat de l'aire en relació al diòxid de sofre, el diòxid de nitrogen I els òxids de nitrogen, les partícules, el plom, el benzè i el monòxid de carboni, el arsènic, el cadmi, el níquel, el mercuri, el benzo (a) pirè i els altres hidrocarburs aromàtics policíclics (HAP): Per tots aquests contaminants excepte mercuri i HAP, s'obliga a la classificació de cada zona o aglomeració en funció dels lliminars de avaluació establerts tenint en compte els principis d'implantació de les estacions de mostreig i determina el mètode de avaluació (mesuraments fixos, tècniques de modelització, campanyes de mesuraments representatives indicatives o una combinació dels mateixos). També concreta aspectes relacionats amb els mesuraments, com ara: els criteris d'ubicació dels punts de mostreig o la determinació del nombre mínim de aquests en mesurament fix (Annex IV), els objectius de qualitat de les dades (annexos V i VI) o els mètodes de referència per a l'avaluació (annex VII).

El Reial Decret també s'ocupa de la gestió de la qualitat de l'aire, ja que:

- Fixa diverses obligacions pel que fa als terminis de compliment i de la necessitat d'elaborar llistats diferenciats per contaminant on s'indiqui els llimdars i límits legislats superats, per zones i aglomeracions, així com al estipular una sèrie mesures aplicables segons la superació o no superació dels límits, objectius i/o llimdars establerts, segons el cas.
- Considera la possibilitat de sol·licitar pròrrogues dels terminis de compliment, i exempcions en l'obligació d'aplicar certs valors límit.

Com a conseqüència de tot l'anterior, el Reial Decret estipula que quan en determinades zones o aglomeracions els nivells de contaminants en l'aire ambient superin qualsevol valor límit o valor objectiu, les comunitats autònomes aprovaran plans de qualitat de l'aire per a aquestes zones i aglomeracions per tal de aconseguir respectar el valor límit o el valor objectiu corresponent.

Finalment, el Reial decret regula l'intercanvi d'informació (entre les administracions públiques i la població) i estableix el règim sancionador per al incompliment del que disposa el mateix.

4 Metodologia

Els nivells de diòxid de nitrogen (NO₂) s'han mesurat com a indicador de la qualitat de l'aire utilitzant la tècnica de tubs passius de NO₂ del tipus Palmes (figura 1). Aquest mètode és considerat indicatiu, de manera que les dades que s'obtenen són indicatives i en cap cas es poden utilitzar com a dades de referència per compliment normatiu.

No obstant, la utilització dels dosímetres passius ha estat validada i utilitzada en nombrosos estudis arreu del món. Es tracta d'una tècnica que presenta moltes avantatges perquè no necessita ni manteniment, ni calibratge, ni electricitat, la qual cosa fa que es pugui aplicar fàcilment en qualsevol ambient i/o circumstàncies. S'utilitza sobretot en estudis preliminars i estudis base per investigar les distribucions espacials dels contaminants atmosfèrics tant en ambients urbans com rurals, ja que és un mètode que permet cobrir àrees molt extenses del territori.

Tot i les moltes avantatges que presenta la tècnica, cal tenir en compte que els dosímetres passius s'han d'utilitzar amb precaució i degudament ja que poden donar problemes intrínsecs al mètode, és per això que la validació dels resultats és molt necessària.

Un tub passiu de NO₂ del tipus Palmes és un captador de gas que consisteix en un tub acrílic de 7.1cm amb un diàmetre intern de 1.1cm. Una membrana impregnada de triethanolamine (TEA) col·locada al tap superior del captador (color gris a la figura 1) absorbeix el diòxid de nitrogen de l'aire. El transport del gas a través del tub és degut al procés físic de difusió (Targa 2001).



Figura 1: *Dosímetre passiu NO₂ del tipus Palmes*

Amb els captadors passius, la resolució temporal és igual al període d'exposició d'aquest mateix que sol ser de 4-5 setmanes. És a dir, que els resultats obtinguts amb els captadors és igual a la mitjana del període. Per aquesta raó, **els resultats obtinguts només és poden comparar a valors referents a mitjanes mensuals/anuals** i no a mitjanes horàries ja que el mètode no és capaç de mesurar en una resolució de temps tan petita.

A continuació, es detalla la informació referent a la campanya de mostreig.

4.1 Període de mesura

La campanya de mesuraments de NO₂ mitjançant captadors passius s'ha realitzat durant 4 períodes de 4 setmanes. Concretament, els captadors passius van mesurar en les següents dates:

- 16/02/2018 i 16/03/2018
- 11/05/2018 i 11/06/2018
- 27/09/2018 i 30/10/2018
- 20/11/2018 i 18/12/2018

4.2 Col·locació de captadors a les cabines

Seguint el procediment habitual desenvolupat per 4sfera, 1 punt de mostreig es va posar a l'estació de referència més propera a la zona d'estudi. En aquest cas es va posar a l'estació de qualitat de l'aire que hi ha a Girona mateix, a l'estació anomenada: Girona (Escola de Música). Aquesta estació està equipada amb aparells de mesura de referència de la Generalitat de Catalunya (veure la figura 2 per veure la localització de la cabina).

A l'estació automàtica, els captadors es van exposar en triplicat (veure figura 3). Aquest exercici es porta a terme per calcular la precisió i exactitud de la campanya. A més a més, si s'escau convenient, es pot calcular un factor d'ajustament per compensar la tendència a sobre estimar dels tubs tipus Palmes.

4.3 Estratègia de mesura

L'objectiu principal de la xarxa és estudiar la distribució espacial de diòxid de nitrogen de diferents punts de la ciutat. La malla ha consistit en 18 punts de mesura i s'il·lustra



Figura 2: Localització estació automàtica de control dins la zona d'estudi



Figura 3: Col·locació del triplicat de control a l'estació automàtica

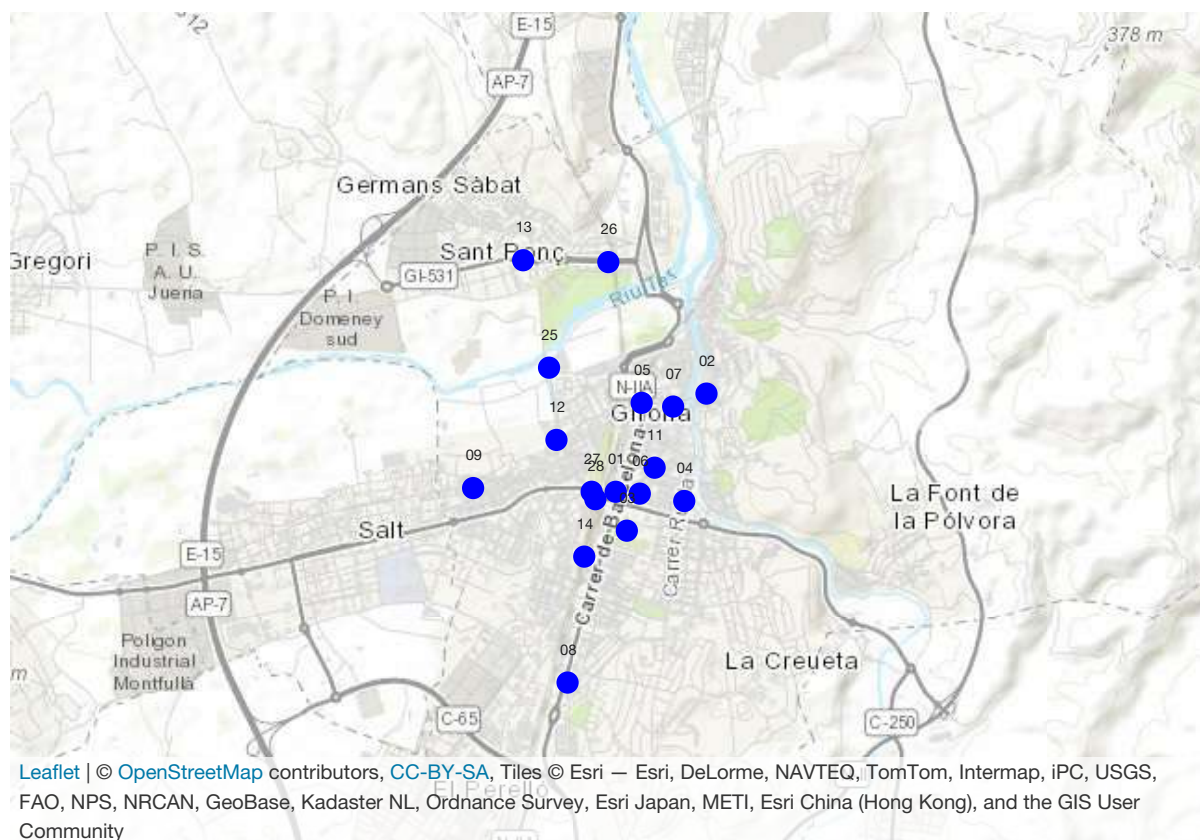


Figura 4: Localització punts de mostreig

a les figures 4 i 5 i la taula 1. Seguint les normes de micro-implantació del mètode, s'ha evitat col·locar dosímetres en cruïlles.

La campanya ha inclòs els següents punts:

- Punts de fons urbà dins del municipi
- Punts pròxims a vies transitades
- Zones centríques de la ciutat

La configuració de la xarxa segueix les recomanacions d'estudis anteriors a la ciutat de Girona on s'identifiquen diferents punts conflictius dins la ciutat on sembla indicar la possible superació del valor límit de la mitjana anual en nivells de diòxid de nitrogen (NO₂). La xarxa semi-permanent és necessària per valorar el risc d'aquestes superacions.

A més a més dels punts orientats al trànsit rodat, també s'inclouen punts de fons a la xarxa. Aquest estan distribuïts en punts allunyats del trànsit (a més de 20 metres de la vorera d'una via principal). En la majoria de casos, aquests punts estan situats dins de parcs urbans (Parc de Migdia, Plaça Europa...).

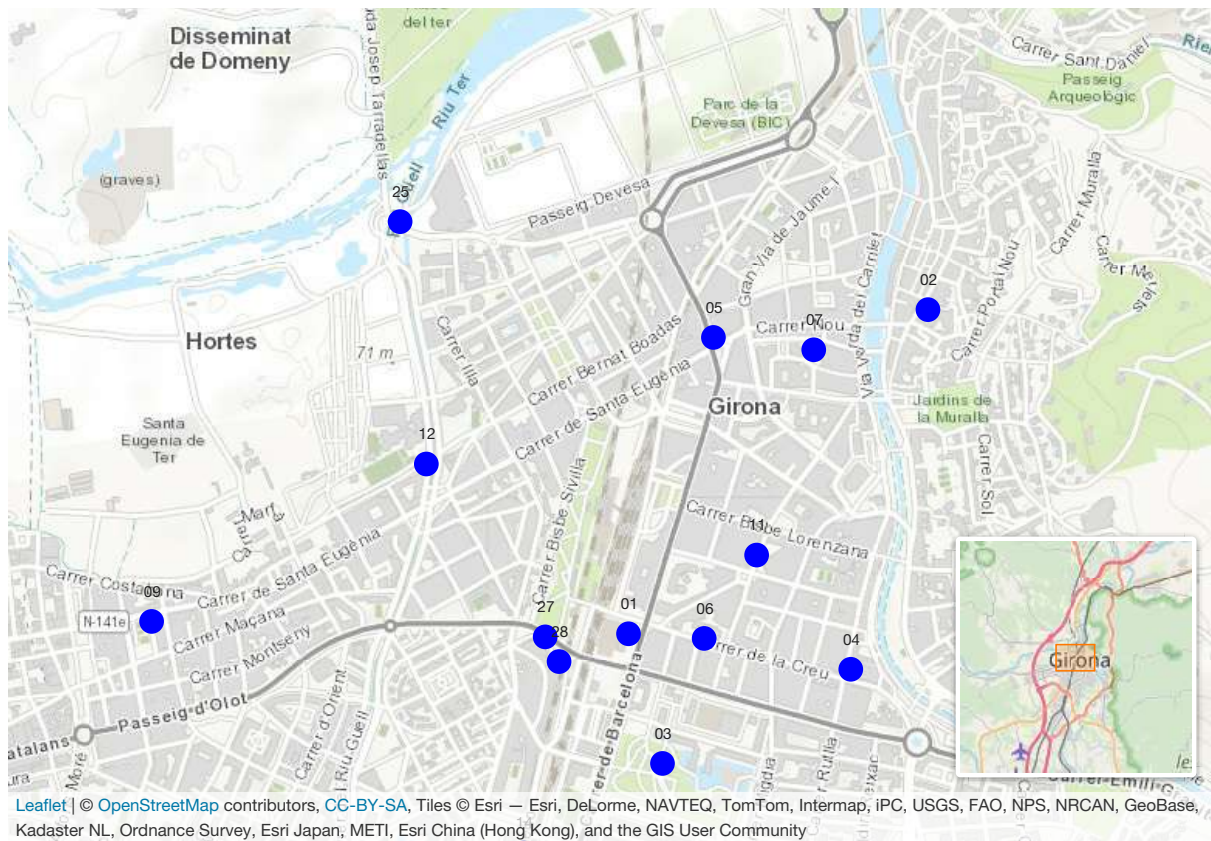


Figura 5: Localització punts de mostreig (centre)

Taula 1: *Localització punts de mostreig*

Punt	Localització	Tipus
01	Crta de Barcelona	UT
02	Ajuntament de Girona (Pl. del Vi)	UB
03	Parc del Migdia	UB
04	C. Rutlla 57 (amb C. de la Creu)	UT
05	Ronda Ferran Puig 2	UT
06	C. de la Creu	UT
07	C. Sant Francesc	UT
08	Ctra Barcelona - Bolera	UT
09	Santa Eugènia	UT
10	C/ Pont Major 41	UT
11	C. Maragall	UT
12	Avinguda de Josep Tarradellas	UT
13	Crta Sant Gregori	UT
14	C. Oviedo (Hisenda - cera opp)	UT
25	Devesa - Rotonda	UT
26	Rambla Xavier Cugat 19	UT
27	Pl. Europa	UT
28	Pl. Europa (so)	UB

4.4 *openair* - R package per l'anàlisi de dades de qualitat de l'aire

L'eina *openair* (Carslaw i Ropkins 2012) ha sigut escollida per poder realitzar un anàlisi més profund de les dades automàtiques i il·lustrar de forma molt visual els resultats de l'estudi.

openair és un paquet de R desenvolupat per tal d'analitzar les dades de qualitat de l'aire - o més generalment les dades de composició de l'atmosfera. El paquet s'utilitza àmpliament en el món acadèmic, el sector públic i privat. El projecte va ser finançat inicialment pel Natural Environment Research Council (NERC) del Regne Unit (NERC s. d.), amb fons addicionals de Departament Britànic de Medi Ambient (DEFRA) (DEFRA s. d.).

L'eina *openair* dona la possibilitat d'introduir diferents variables en l'anàlisi de dades de qualitat de l'aire per poder identificar i quantificar el focus emissor de contaminants de la qualitat de l'aire. *openair* va més enllà de les simples roses de vent on les úniques variables són velocitat i direcció del vent i el contaminant. *openair* és una innovadora tècnica d'anàlisi de dades de qualitat de l'aire. Aquestes poderoses eines donen un millor coneixement de la contaminació de l'aire que permet obtenir una àmplia informació de les dades de les xarxes de vigilància.

5 Resultats

Els resultats de la xarxa es presenten en aquesta secció. La precisió i exactitud, definits a la taula següent, s'han calculat per verificar les dades obtingudes amb el mètode de captadors passius durant les campanyes. A més a més, les dades de l'estació automàtica de la Generalitat són analitzades per contextualitzar els resultats.

5.1 Comparació dels captadors passius amb estació automàtica

A Girona, el Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya té operativa una estació de control i vigilància de la qualitat de l'aire amb un equip de mesurament en continu de NO₂. Les dades d'aquesta estació s'han utilitzat per verificar les dades obtingudes amb el sistema passiu.

Per verificar les dades obtingudes amb el mètode de captadors passius durant els 4 períodes, s'ha calculat la precisió i l'exactitud de la metodologia. Concretament, la **precisió** es refereix a la proximitat d'una sèrie de mesures entre si (en aquest cas, entre els captadors col·locats en triplicat) i l'**exactitud** es refereix a la proximitat d'una mesura amb el valor real. Aquests s'han calculat amb els captadors col·locats a l'estació automàtica amb equips de referència durant l'estudi.

5.1.1 La precisió dels captadors amb estació automàtica

El coeficient de variació (CV) representa la precisió. Aquest s'utilitza per avaluar la precisió dels captadors (repetibilitat). Els resultats obtinguts del càlcul de la precisió de cada triplicat s'inclouen a la taula 2. El CV entre diferents triplicats oscil·la de 1.5 a 6.1 %. De mitjana, el CV és de 4.25 %. En aquest cas la repetibilitat de l'estudi es pot considerar bona ja que aquests valors no superen el 10% i el valor màxim de 6.1 % tampoc supera el 10%. En els barems establerts per 4sfera seguint recomanacions de xarxes similars al Regne Unit, un estudi amb mitjana de CV inferior a 10 ja es considera acceptable.

5.1.2 L'exactitud dels captadors amb estació automàtica

Abans de presentar les dades de l'estudi, el mètode utilitzat s'ha verificat amb el sistema de referència per la mesura de diòxid de nitrogen (NO₂). A Girona, el Departament de

Taula 2: Càlculs de precisió de la campanya a l'estació fixa

Estació	Període	Tub 1	Tub 2	Tub 3	Mitjana tubs	stdev	CV(%)
Girona (Escola de Música)	p1801	25.46	26.29	26.10	25.9	0.4	1.5
Girona (Escola de Música)	p1802	22.69	20.97	23.14	22.3	1.1	4.9
Girona (Escola de Música)	p1803	25.14	26.82	27.50	26.5	1.2	4.5
Girona (Escola de Música)	p1804	NA	30.94	28.38	29.7	1.8	6.1

Taula 3: Dades obtingudes a l'estació automàtica

Període	Tub 1	Tub 2	Tub 3	Mitjana tubs	Mitjana automàtica
p1801	25.46	26.29	26.10	25.9	31
p1802	22.69	20.97	23.14	22.3	22
p1803	25.14	26.82	27.50	26.5	29
p1804	NA	30.94	28.38	29.7	34

Territori i Sostenibilitat de la Generalitat té operativa una estació de control i vigilància de la qualitat de l'aire amb un equip de mesurament en continu de NO₂. Les dades d'aquesta estació s'han utilitzat per verificar les dades obtingudes amb el sistema passiu. La taula 3 resumeix les dades obtingudes.

La figura 6 il·lustra la relació entre els resultats automàtics i els tubs passius. Aquesta correlació és força típica pels tubs on generalment tenen un tendència a sobre-estimar els resultats. La majoria de mesos, l'exactitud dels tubs ha sigut dins del +-20% establert.

Seguint el document tècnic per la utilització de tubs passius per campanyes indicatives, s'ha calculat un valor d'ajustament entre el mètode de referència i el dels tubs passius. Aquest valor anomenat "Bias A" i que s'utilitza per ajustar els resultats obtinguts és de 1.11. Això significa que els valors bruts obtinguts amb els dosímetres passiu Palmes, tenen una tendència mitjana de sobre-estimació del -11%. En cas que no notifiqui el contrari, tots els resultats presentats d'ara endavant han sigut ajustats amb aquest coeficient.

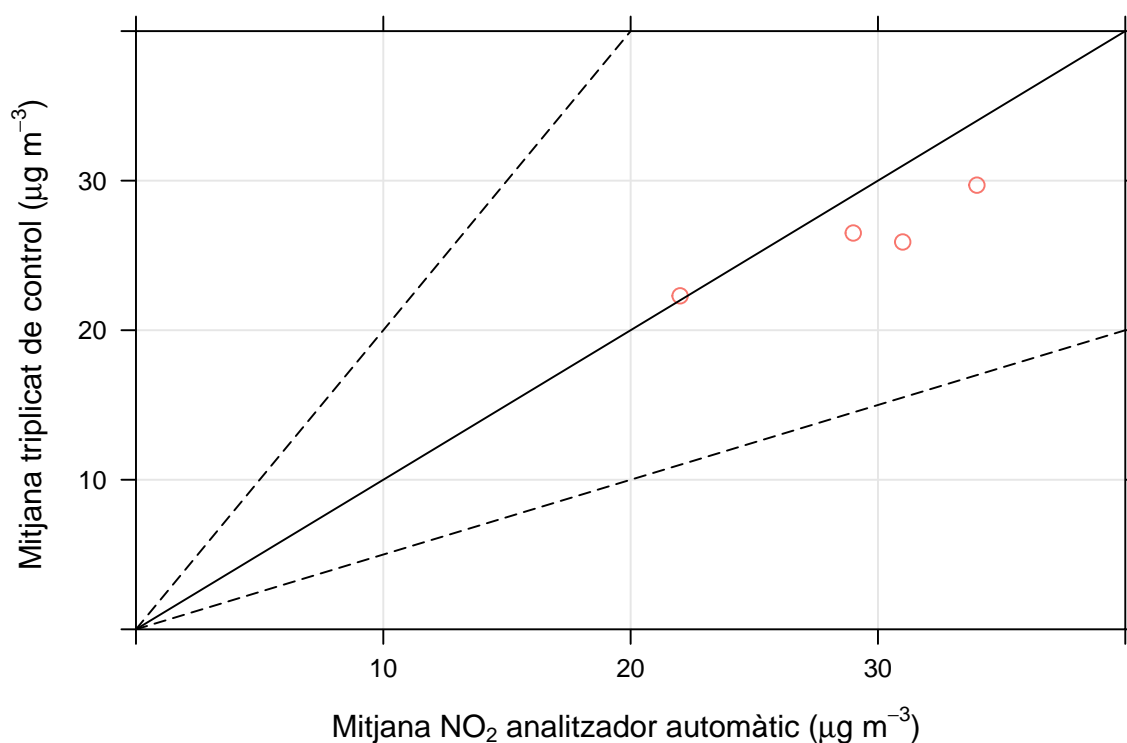


Figura 6: Verificació dades de l'estudi amb dades automàtiques

5.2 Anàlisi de les dades de l'estació automàtica

La Xarxa de Vigilància i Prevenció de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA) inclou una estació dins la zona d'estudi. La Figura 7 il·lustra la localització de l'estació automàtica Girona (Escola de Música) amb equips automàtics de NO₂.

Amb l'objectiu de contextualitzar les dades obtingudes i alhora, donar valor afegit a les dades indicatives, s'ha realitzar un pre-anàlisi de les dades de diòxid de nitrogen d'estacions automàtiques.

5.2.1 Nivells de diòxid de nitrogen a l'estació de Girona (Escola de Música)

Les dades automàtiques de l'estació de Girona (Escola de Música) que s'han fet servir per controlar els resultats dels dosímetres, es resumeixen en aquesta secció. Aquest anàlisi ajuda a contextualitzar les dades que es presentaran de l'estudi de NO₂ a la ciutat de Girona.

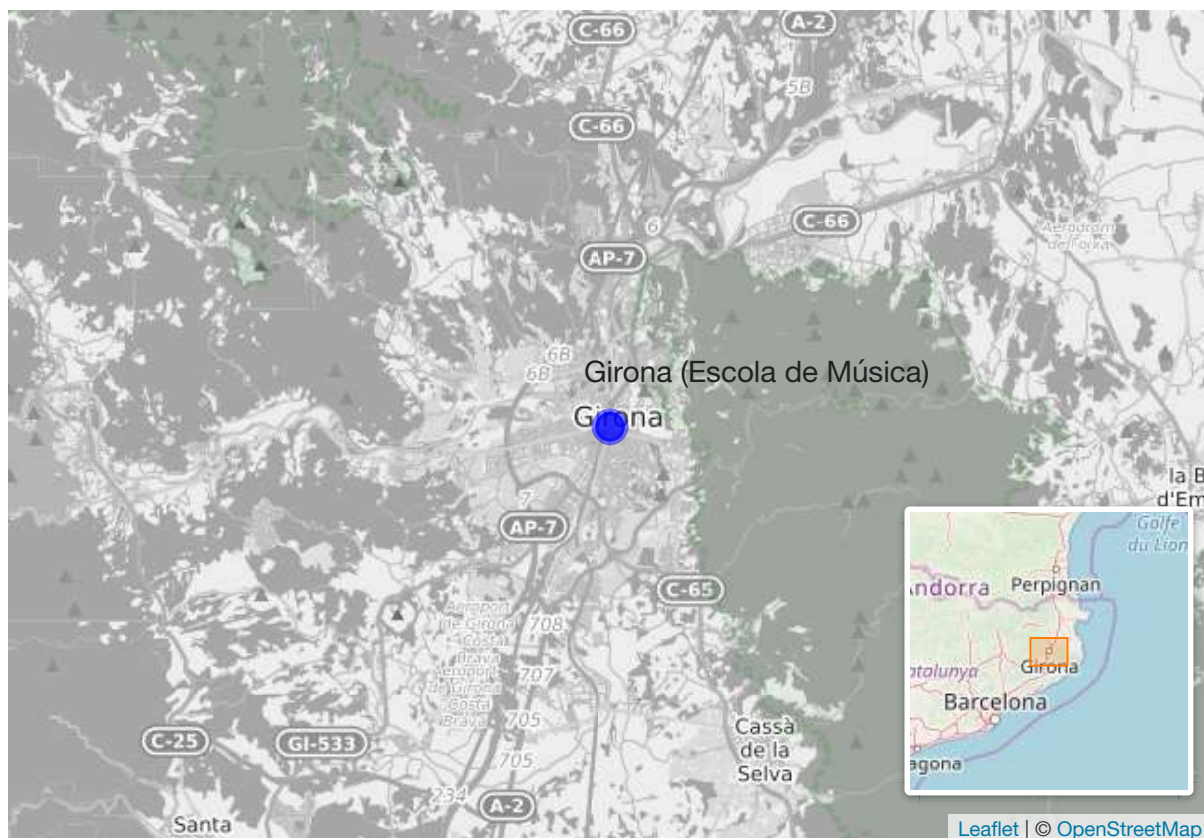


Figura 7: Localització estacions automàtiques de la XVPCA amb mesures de NO₂

La figura 8 il·lustra la mitjana anual de NO₂ a l'estació automàtica entre l'any 2011 i 2018. Els nivells anuals de NO₂ a l'estació de Girona (Escola de Música) han oscil·lat de 35 ug/m³ l'any 2011 a 28 ug/m³ l'any 2018.

La variació mensual dels nivells de NO₂ a l'estació s'observa a la figura 9, on es pot veure el cicle anual molt marcat amb concentracions màximes a l'hivern i mínimes a l'estiu.

Per entendre la tendència dels nivells de NO₂ a l'estació de Girona (Escola de Música), s'ha fet servir l'opció d'smoothTrend de l'*openair* amb l'opció de desestacionalitzar. La figura 10 il·lustra les tendències dels nivells de NO₂ entre l'any 2011 i 2018. S'observa la tendència general de disminució dels nivells de NO₂.

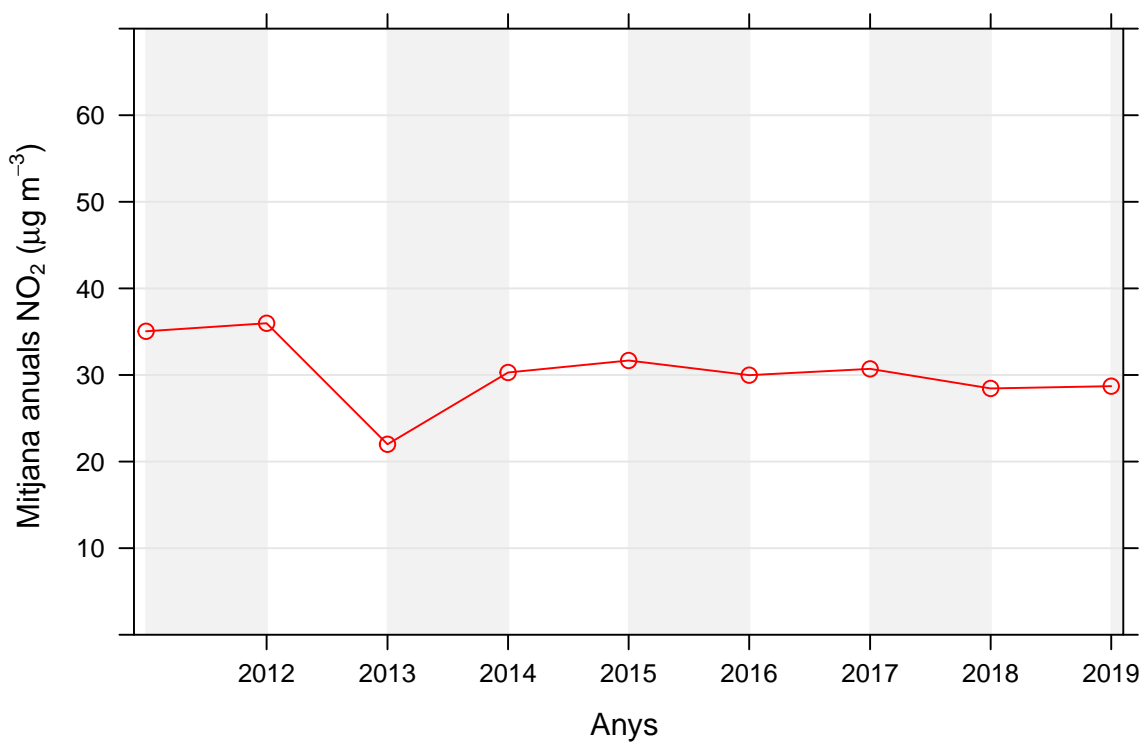


Figura 8: Mitjanes anuals de NO₂ a l'estació

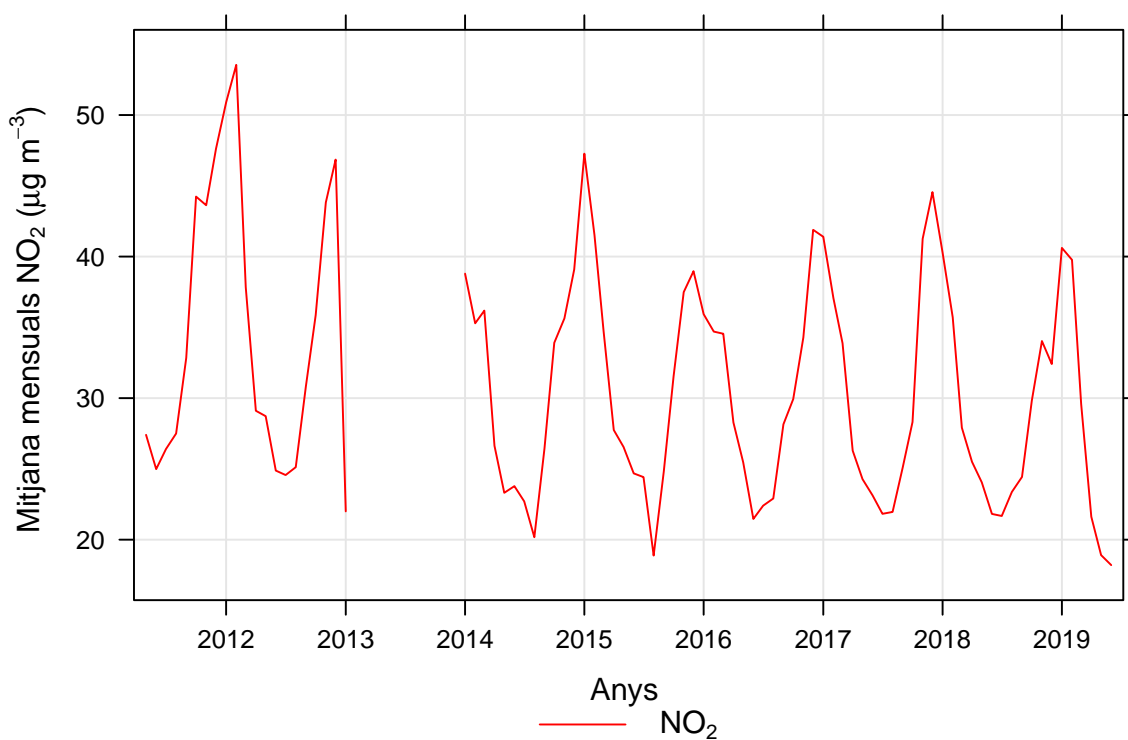


Figura 9: Variació mensuals de NO₂ a l'estació

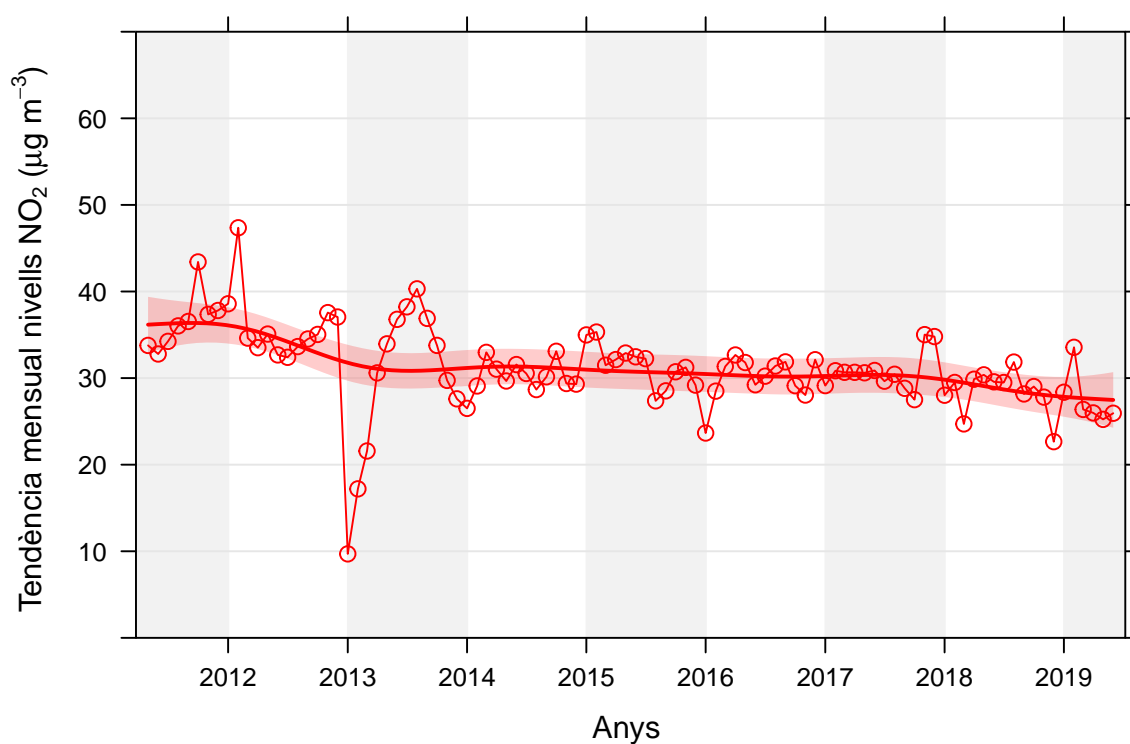


Figura 10: *smoothTrend* dels nivells de NO₂ amb l'opció de desestacionalitzar a l'estació

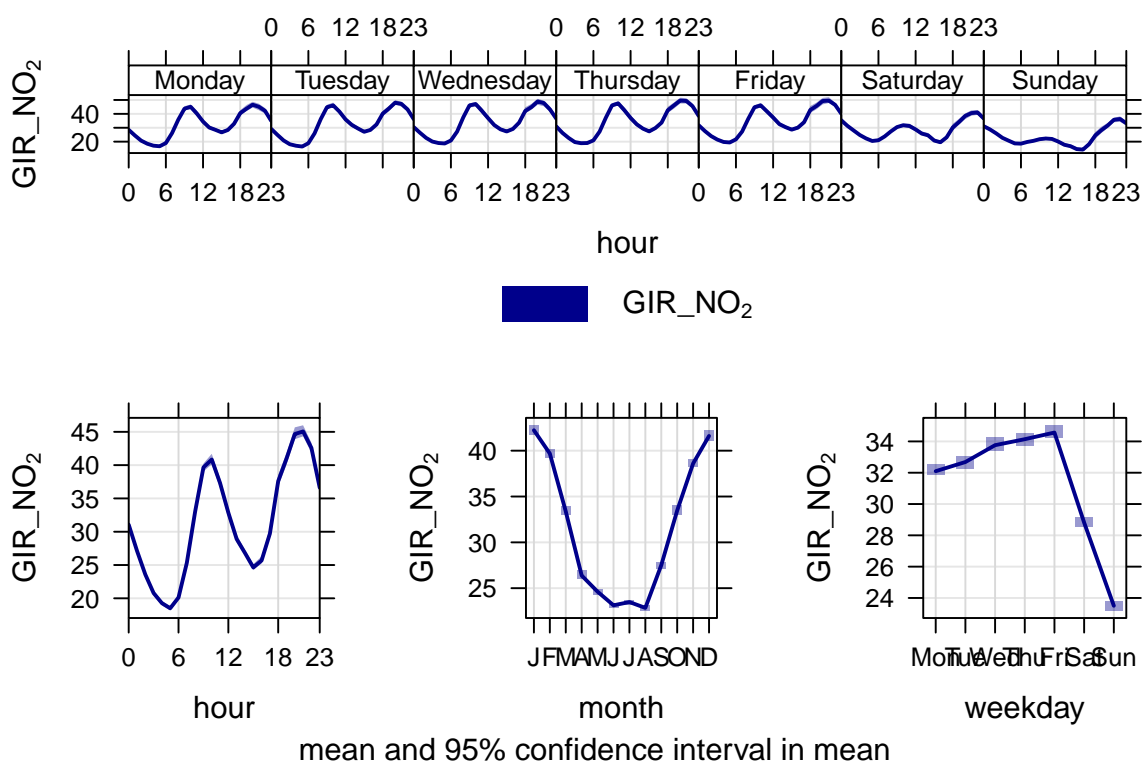


Figura 11: Anàlisi detallat variació temporal de NO₂ amb totes les dades incloses

5.2.1.1 Anàlisi detallat de la variació temporal dels nivells de NO₂

Les característiques dels nivells de NO₂ de l'estació s'han estudiat mitjançant l'eina *openair*. L'anàlisi detallat de la variació temporals dels nivells de NO₂ inclou les variacions: Diürnes i Dia / hores, Setmanals (dies setmana) i Mensuals (estacionals).

L'anàlisi detallat s'il·lustra a les figures 11, 12 i 13. La variació que s'observa es típica d'una estació de trànsit. Aquesta variació es pot resumir en els següents punts:

- els nivells més elevats s'observen durant les hores punta del trànsit (matí i tarda),
- els nivells més baixos es registren al migdia i a la nit,
- les concentracions són més elevades durant els dies feiners (de dilluns a divendres) que al cap de setmana i
- el mínim anual s'observa a l'estiu (Juliol i Agost), mentre que les concentracions més elevades es donen a l'hivern.

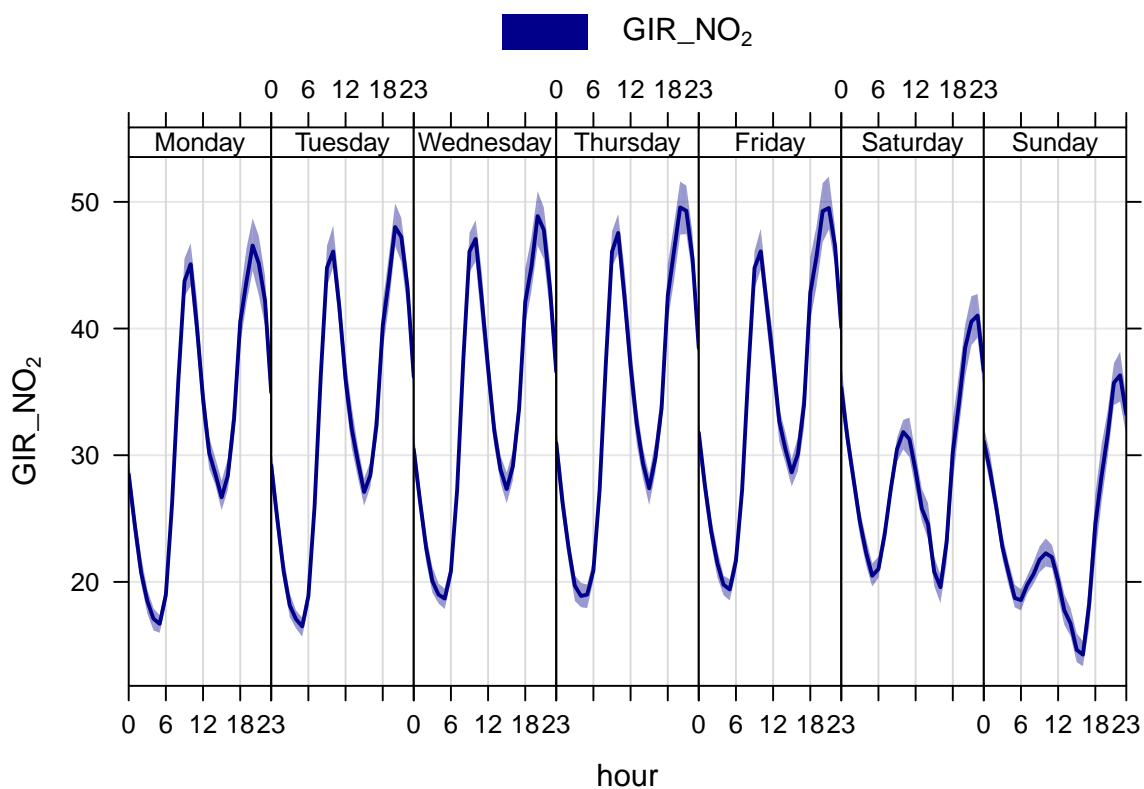


Figura 12: Anàlisi detallat variació temporal de NO₂ (variació diària-setmanal) amb totes les dades incloses

La variació de les concentracions durant l'estudi s'il·lustra a la figura 14. La variació dels nivells de NO₂ durant 2018 és típica amb nivells baixos Juliol/Agost i més elevats Gener-Març i Octubre-Desembre.

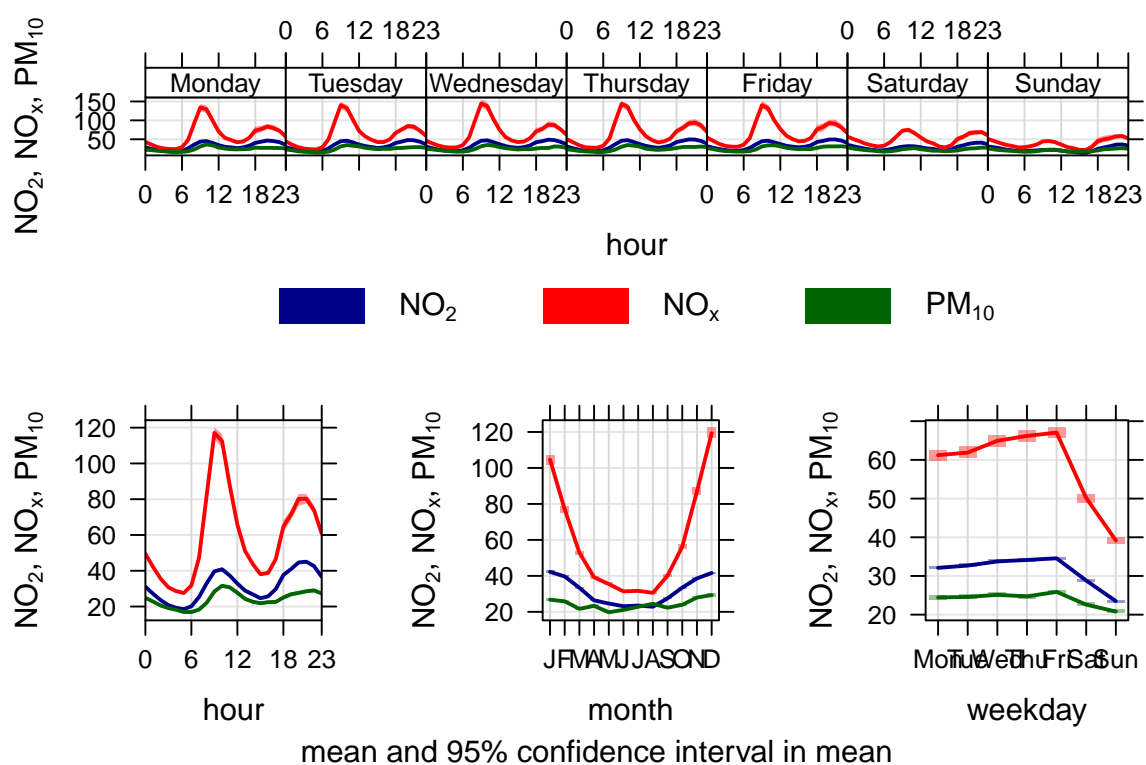


Figura 13: Anàlisi detallat variació temporal de NO₂, NO_x i PM₁₀ amb totes les dades incloses

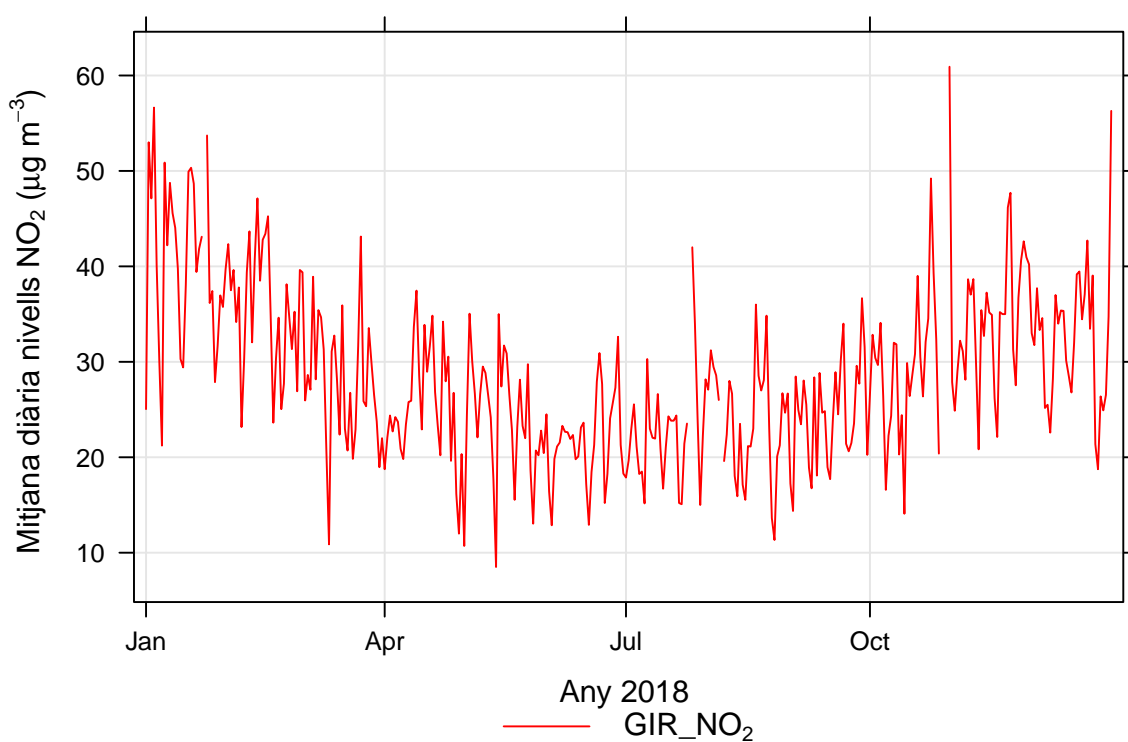


Figura 14: Sèrie temporal diària de NO₂ durant l'any 2018

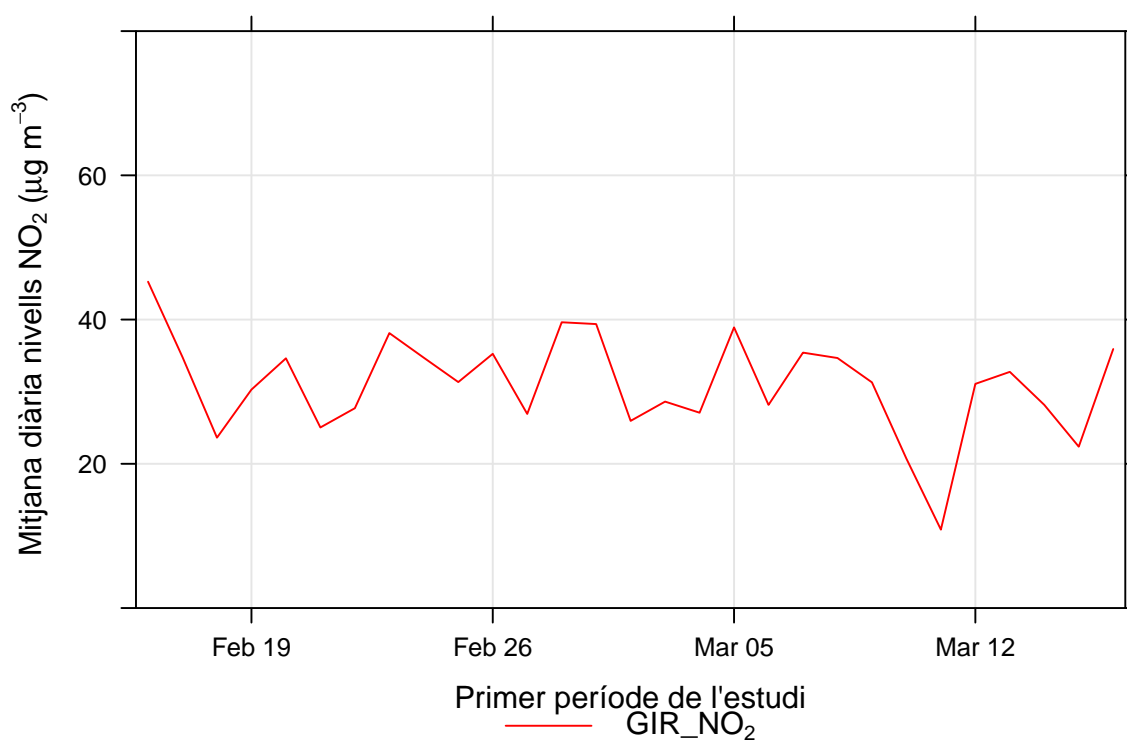


Figura 15: Anàlisi detallat variació temporal de NO₂ durant el primer període

5.2.2 Variació nivells NO₂ durant l'estudi

La variació de les concentracions durant l'estudi s'il·lustra entre les figures 14 i 18. La variació dels nivells de NO₂ durant el 2018 s'observa a la figura 14. La figura 15 correspon al primer període, la figura 16 al segon, la figura 17 il·lustra el tercer període i el quart període s'il·lustren a la figura 18.

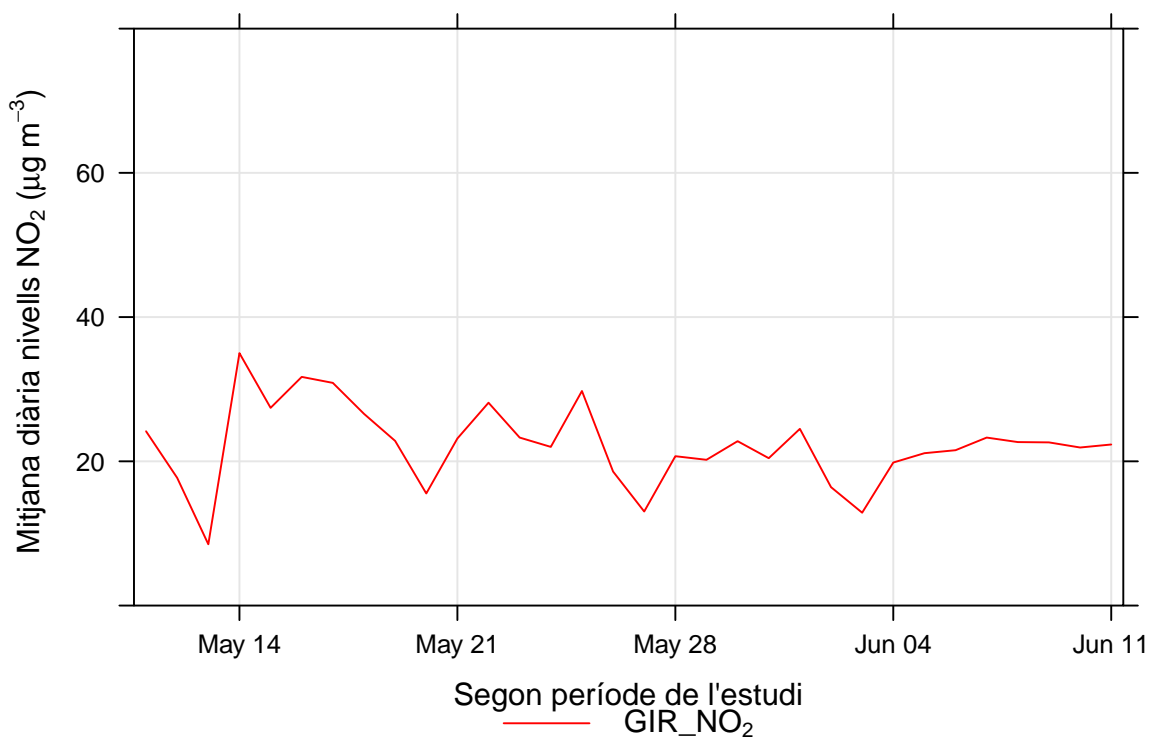


Figura 16: Anàlisi detallat variació temporal de NO₂ durant el segon període

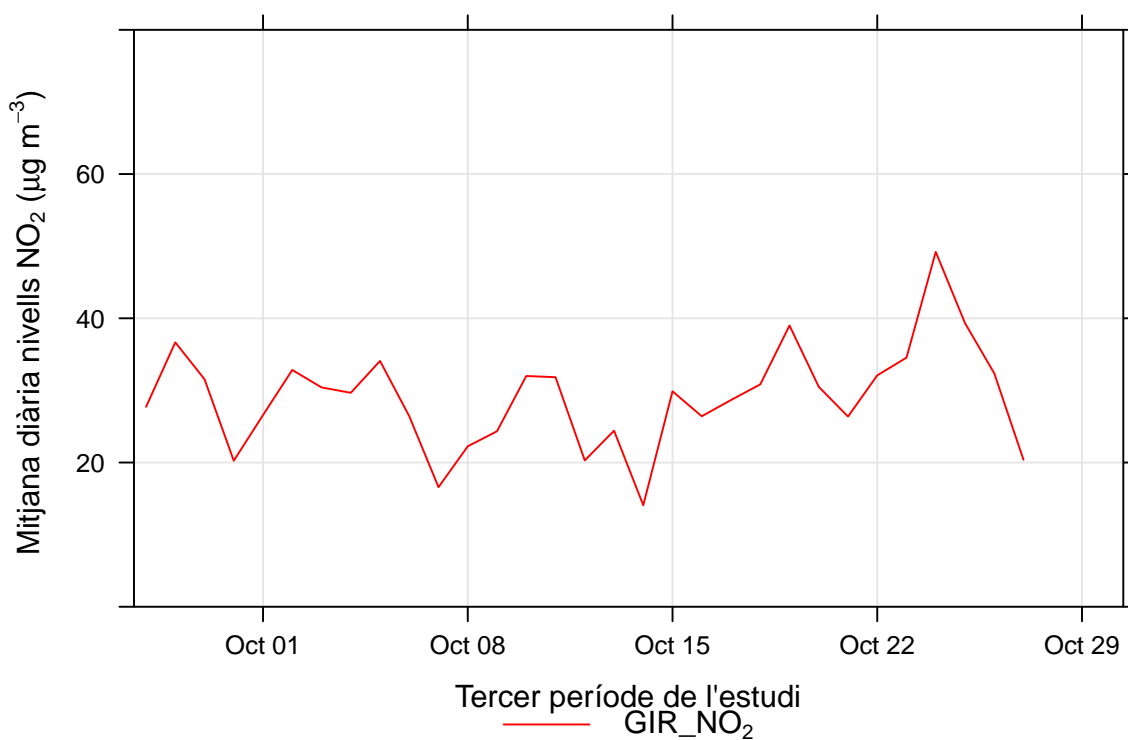


Figura 17: Anàlisi detallat variació temporal de NO₂ durant el tercer període

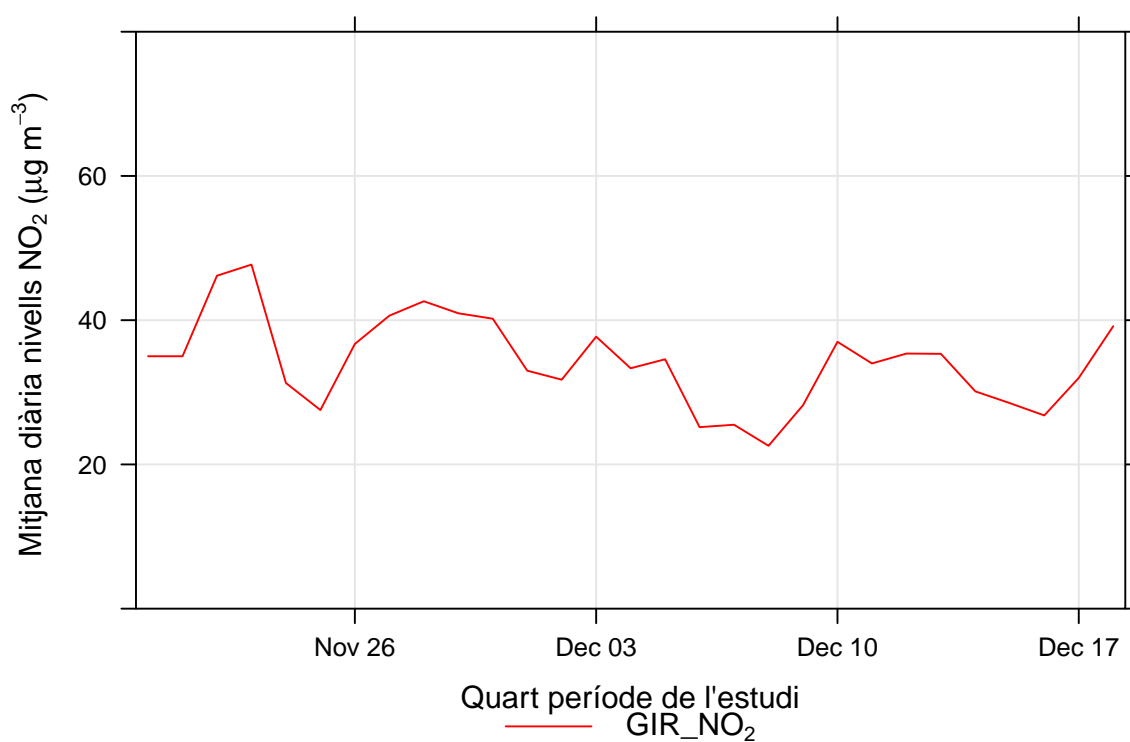


Figura 18: Anàlisi detallat variació temporal de NO₂ durant el quart període

5.3 Anàlisi general xarxa dosímetres de la ciutat de Girona

Tots els resultats presentats s'han ajustat segons la relació obtinguda entre els dosímetres passius i les dades de l'estació del Departament de Territori i Sostenibilitat. Aquestes dades són indicatives dels nivells de NO₂. Tot i que algun dels resultats es comparin amb el límit anual de NO₂ de 40 ug/m³, només dades obtingudes amb el mètode de referència es poden utilitzar per comparar els nivells de NO₂ amb límit legals.

La xarxa consisteix en diferents punts de la ciutat, concretament en 18 punts de mesura incloent:

- Punts de fons urbà dins del municipi
- Punts pròxims a vies transitades
- Zones centríques de la ciutat

La gràfica de barres (figura 19) resumeix les dades obtingudes a Girona. Dels 18 punts de mostreig, la mitjana de tots els punts de fons urbà és de 27 ug/m³ i la mitjana de tots els punts de trànsit és de 39 ug/m³. Dels 18 punts de mostreig, 12 punts tenen resultats inferiors a 40 ug/m³.

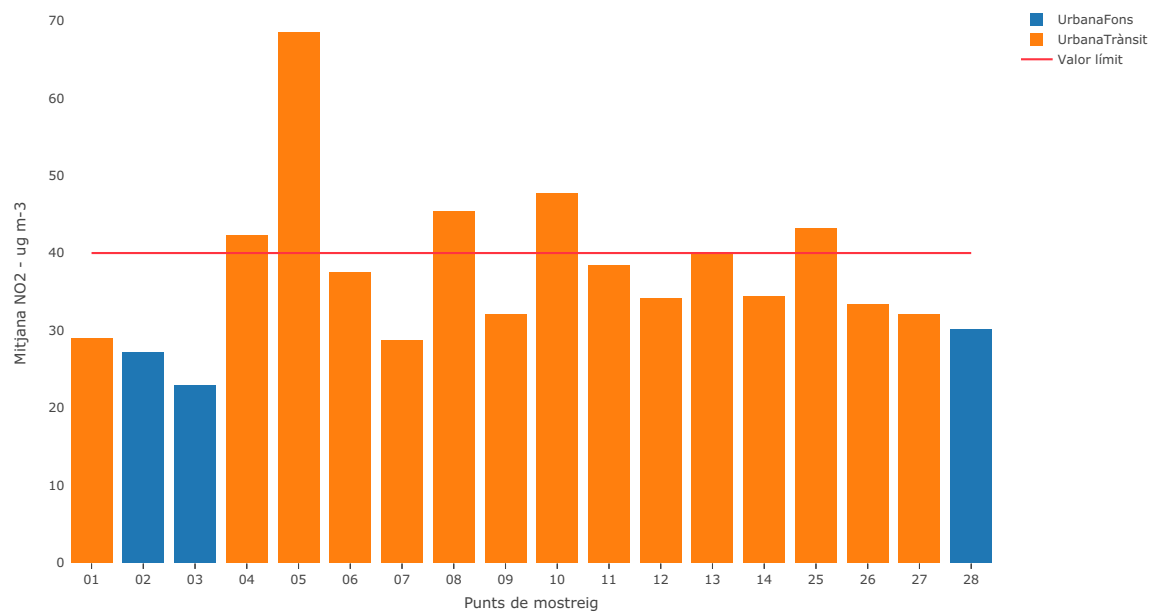


Figura 19: Concentracions mitjanes de NO₂ dels quatre períodes per a tots els punts mostrejats

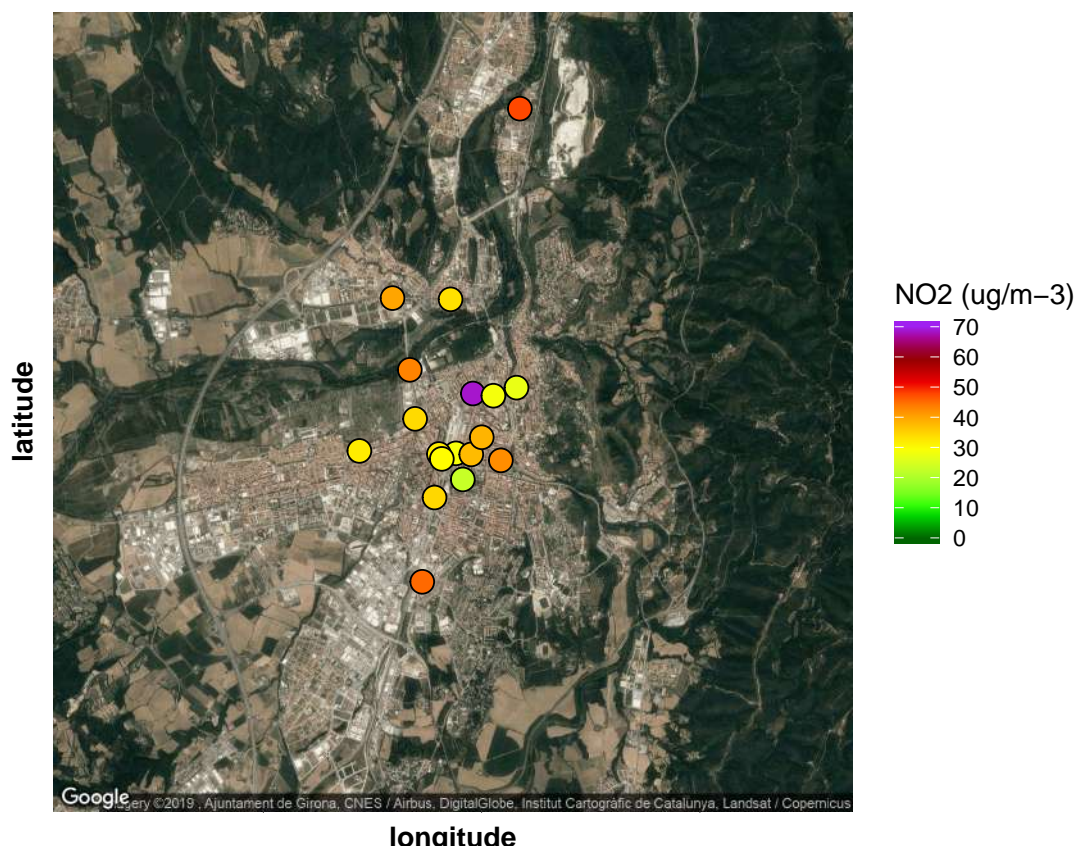


Figura 20: Mapa de les mitjanes de NO₂

La distribució espacial de les concentracions mitjanes de NO₂ dels 4 períodes s'il·lustra al mapa de la figura 20 (figura 21 amb etiquetes). Aquests mapes mostren tant els punts de trànsit com els de fons urbà de tota la ciutat. La figura 22 il·lustra els mateixos resultats amb zoom central de la ciutat. Els nivells més elevats s'han mesurat al punt 05 (Ronda Ferran Puig) amb 68.6 ug/m³, seguit del punt 10 (C. Pont Major) amb 47.7 ug/m³ i del 08 (Ctra Barcelona - Bolera) amb 45.4 ug/m³.

Els nivells de fons més elevats dins la ciutat de Girona són en el punt 28 (Pl. Europa (so)) amb 27.2 ug/m³, seguit del punt 02 (Pl. del Vi) amb 27.2 ug/m³ i del 03 (Parc del Migdia) amb 22.9 ug/m³

Per entendre millor els resultats obtinguts en la campanya, aquest es presenten segons els nivells de fons i els nivells obtinguts als punts de trànsit.

5.3.1 Nivells de NO₂ de fons urbà de Girona

Dels 18 punts de mostreig, 3 punts són urbans de fons allunyats del trànsit. La mitjana de tots els punts urbans de fons és 27 ug/m³. El nivell màxim de fons és de 30.2 ug/m³

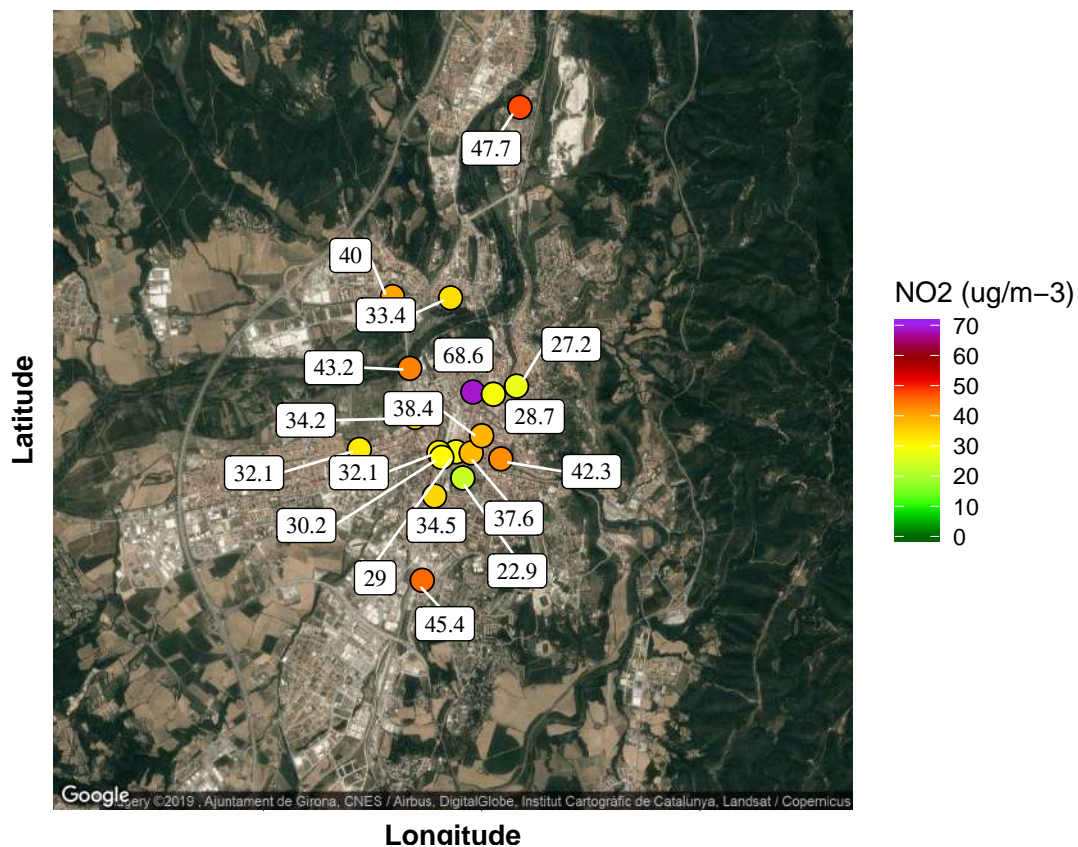


Figura 21: Mapa de les mitjanes de NO₂ (amb etiquetes)

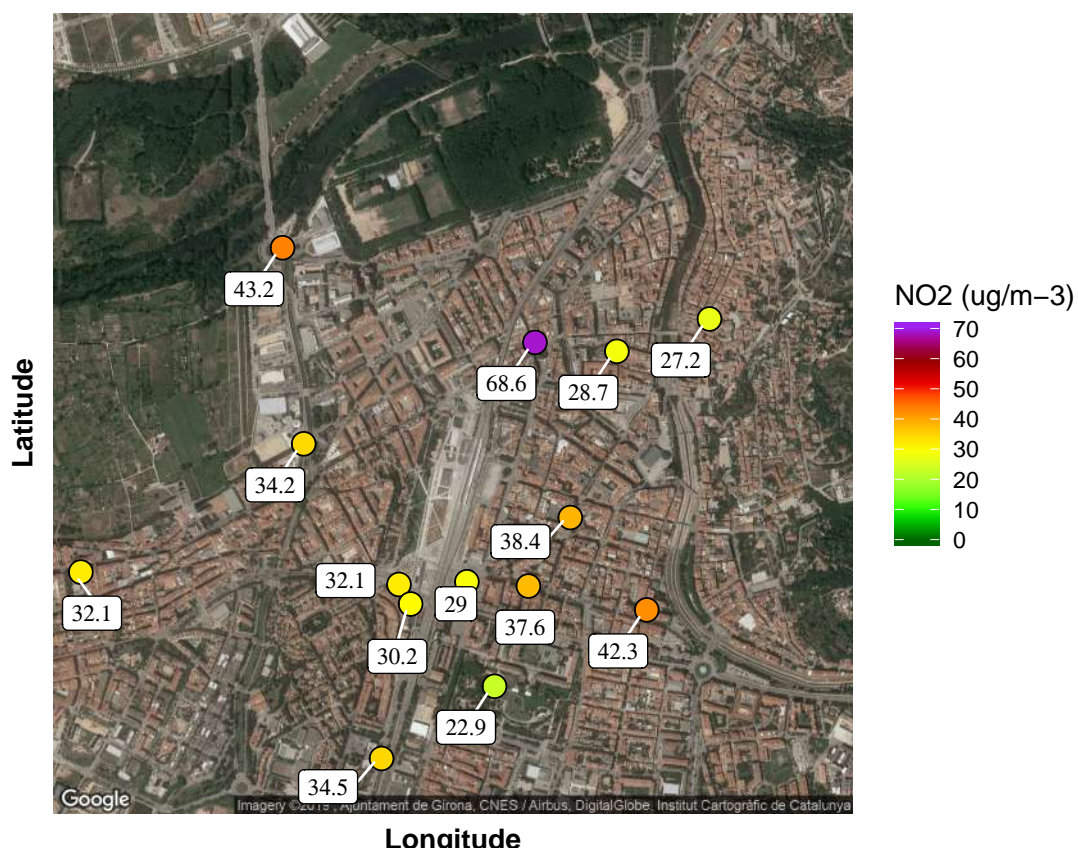


Figura 22: Mapa de les mitjanes de NO₂ (zona centre)

Taula 4: Localització punts de mostreig

Punt	Latitud	Longitud	Nom	Mitjana NO2
01	41.97637	2.816534	Estació Escola de Música	29.0
02	41.98308	2.824869	Pl. del Vi	27.2
03	41.97370	2.817484	Parc del Migdia	22.9
04	41.97565	2.822714	C. Rutlla	42.3
05	41.98248	2.818874	Ronda Ferran Puig	68.6
06	41.97626	2.818647	C. de la Creu	37.6
07	41.98226	2.821688	C. Sant Francesc	28.7
08	41.96324	2.811908	Ctra Barcelona - Bolera	45.4
09	41.97662	2.803268	Santa Eugènia	32.1
10	42.01158	2.825323	C. Pont Major	47.7
11	41.97801	2.820088	C. Maragall	38.4
12	41.97989	2.810926	Maristes	34.2
13	41.99223	2.807821	Crta Sant Gregori	40.0
14	41.97185	2.813601	C. Oviedo	34.5
25	41.98490	2.810200	Devesa - Rotonda	43.2
26	41.99210	2.815800	Rambla Xavier Culgat	33.4
27	41.97630	2.814200	Pl. Europa	32.1
28	41.97580	2.814600	Pl. Europa (so)	30.2

Taula 5: Nivells de NO₂ en punts de fons urbà

Punt	Nom	Mitjana NO2
28	Pl. Europa (so)	30.2
02	Pl. del Vi	27.2
03	Parc del Migdia	22.9

al punt 28 (Pl. Europa (so)) i el mínim és de 22.9 ug/m³ al punt 03 (Parc del Migdia). Dels 3 punts, cap presenta concentracions superiors a 40 ug/m³.

5.3.2 Trànsit urbà de Girona

Dels 18 punts de mostreig, 15 punts són urbans de trànsit. La mitjana de tots els punts urbans de trànsit és 39 ug/m³. La taula 6 enumera els resultats dels punts de trànsit. Les figures 24 i 25 il·lustren els nivells de NO₂ dels punts de trànsit.

Els nivells màxim de trànsit és de 68.6 ug/m³ al punt 05 (Ronda Ferran Puig) i el mínim és de 28.7 ug/m³ al punt 07 (C. Sant Francesc). Dels 15 punts, 5 punts tenen resultats superiors a 40 ug/m³.

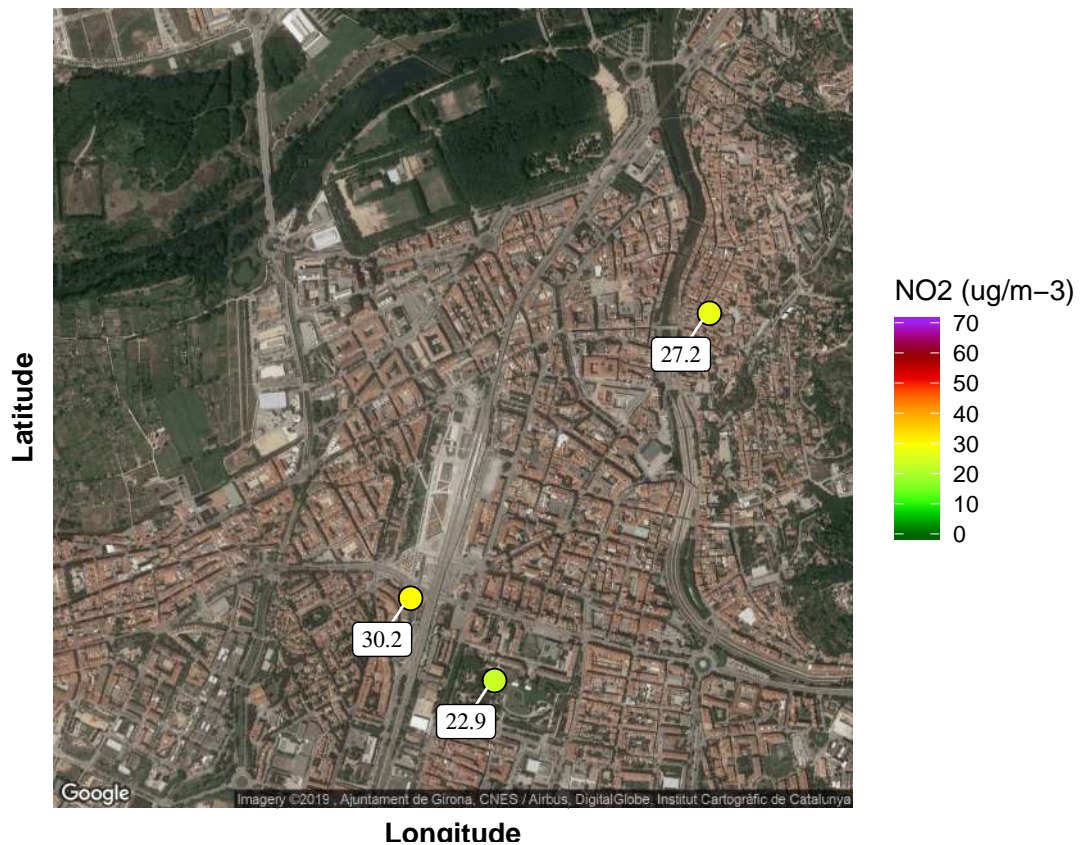


Figura 23: Mapa de les mitjanes de NO₂ a fons urbà

Els 5 punts més elevats de trànsit són: Ronda Ferran Puig (05) amb 68.6 µg/m³; C. Pont Major (10) amb 47.7 µg/m³, Ctra Barcelona - Bolera (08) amb 45.4 µg/m³; Devesa - Rotonda (25) amb 43.2 µg/m³ i C. Rutlla (04) amb 42.3 µg/m³.

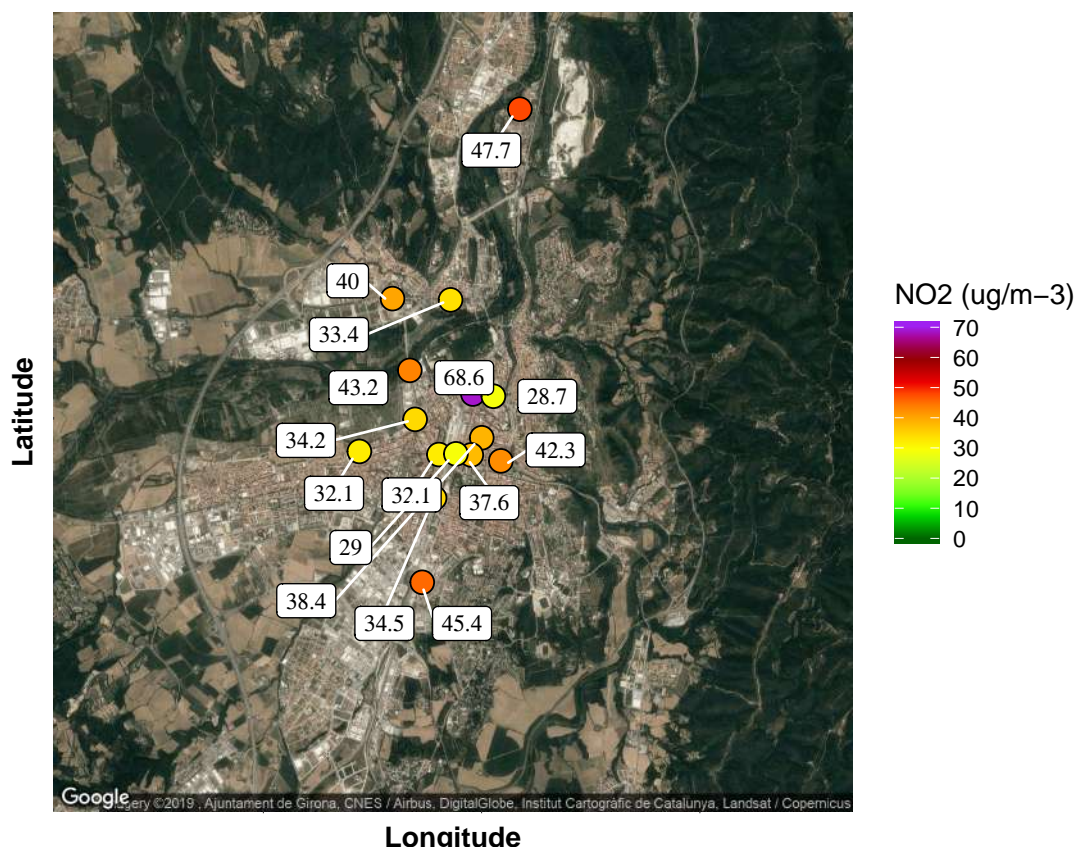


Figura 24: Mapa de les mitjanes de NO₂ a punts urbans de trànsit

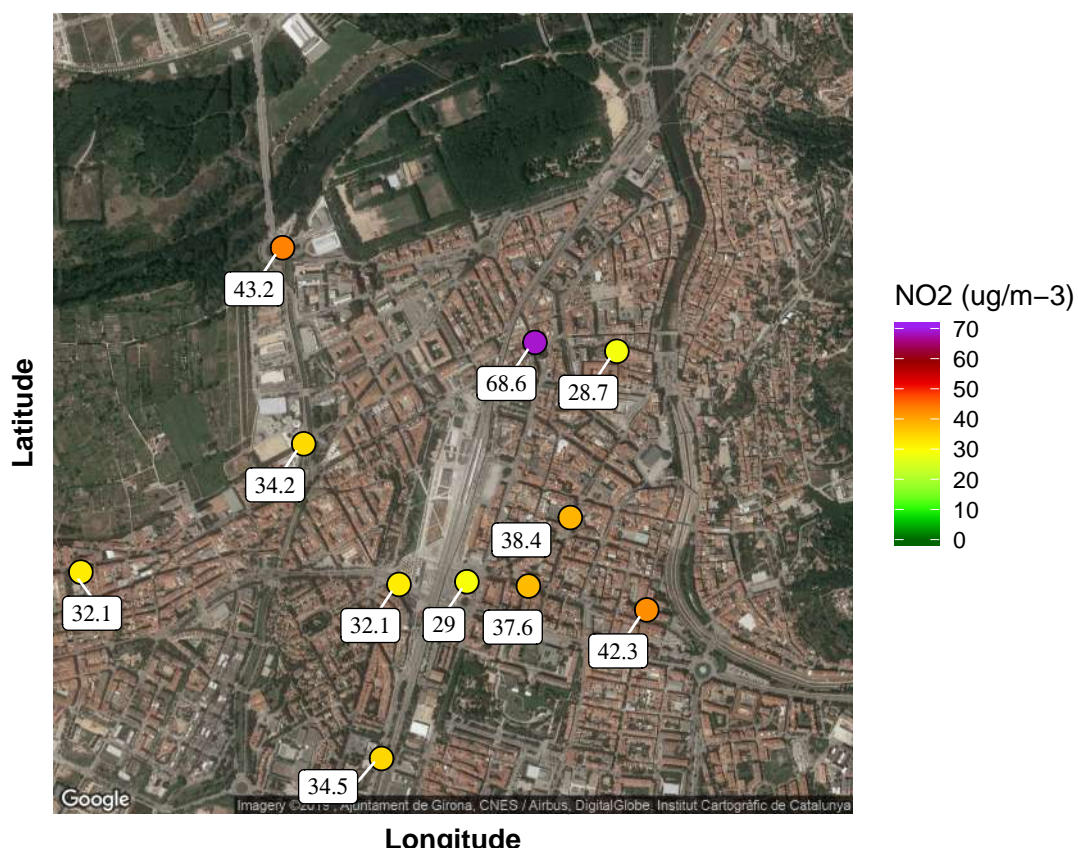


Figura 25: Mapa de les mitjanes de NO₂ a punts urbans de trànsit (zoom)

Taula 6: *Nivells de trànsit urbà*

Punt	Nom	Mitjana NO2
05	Ronda Ferran Puig	68.6
10	C. Pont Major	47.7
08	Ctra Barcelona - Bolera	45.4
25	Devesa - Rotonda	43.2
04	C. Rutlla	42.3
13	Crta Sant Gregori	40.0
11	C. Maragall	38.4
06	C. de la Creu	37.6
14	C. Oviedo	34.5
12	Maristes	34.2
26	Rambla Xavier Culgat	33.4
09	Santa Eugènia	32.1
27	Pl. Europa	32.1
01	Estació Escola de Música	29.0
07	C. Sant Francesc	28.7

5.3.3 Nivells de NO₂ per zones a la ciutat de Girona

Les següents figures il·lustren els nivells de NO₂ de la ciutat de Girona en diferents zones. A la figura 26 s'observa la variació de NO₂ al voltant dels punts 1 i 6 de la campanya (entre Estació Escola de Música i C. de la Creu) . La figura 27 il·lustra els nivells de NO₂ al voltant dels punt 7 i 14 (entre C. Sant Francesc i C. Oviedo).

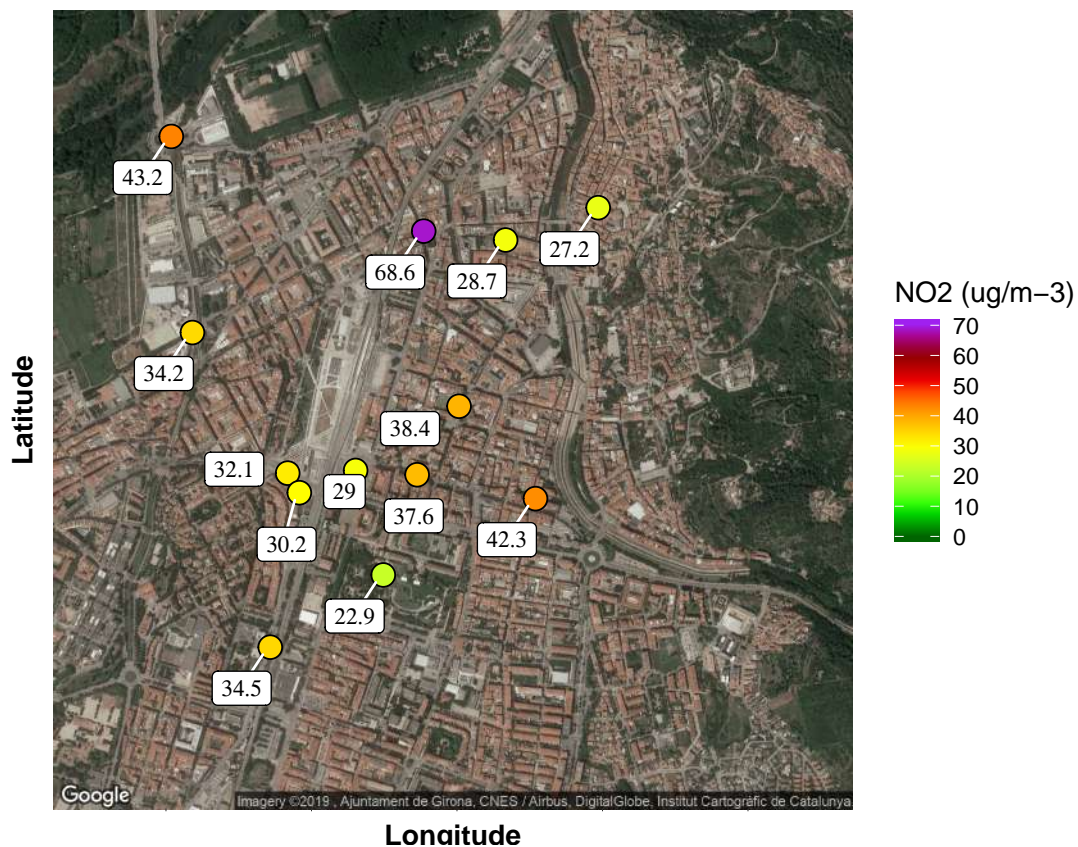


Figura 26: Mapa de les mitjanes de NO₂ (centrat punts 1 i 8)

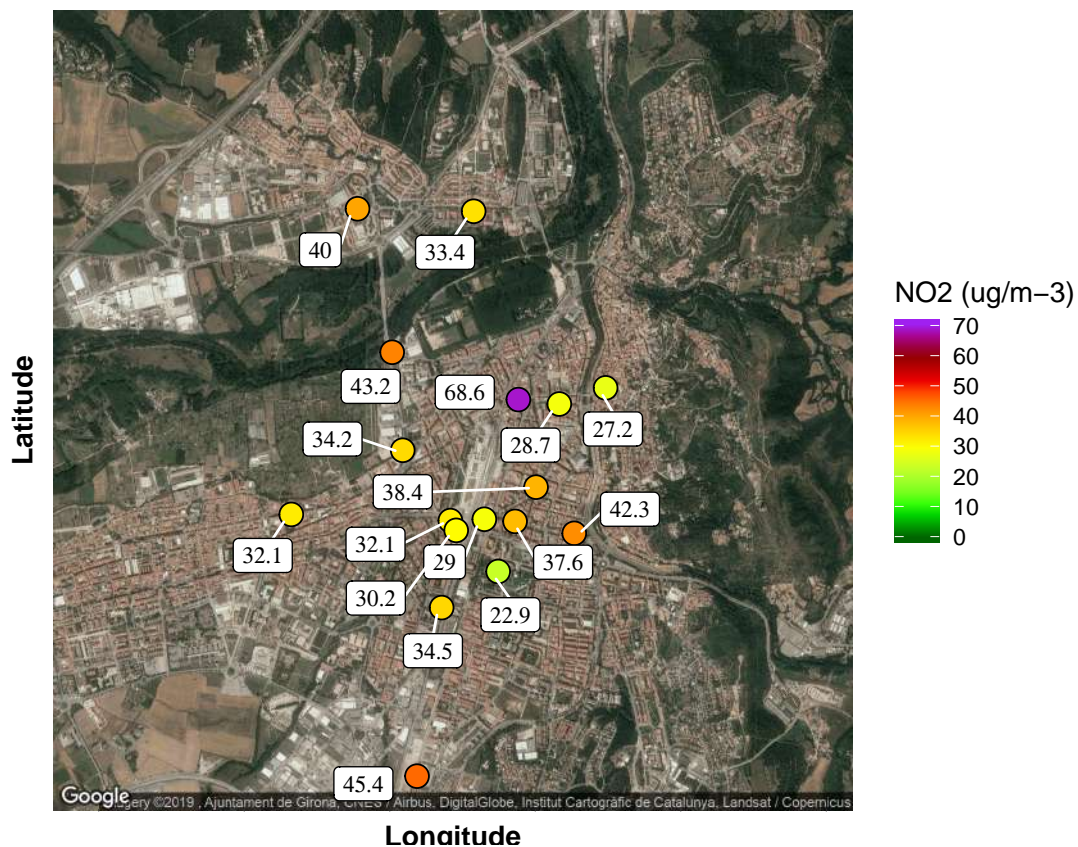


Figura 27: Mapa de les mitjanes de NO₂ (centrat punts 13 i 16)

6 Conclusions

L'estudi de contaminació atmosfèrica que ha portat a terme 4sfera per l'Ajuntament de Girona a la ciutat de Girona mitjançant captadors passius de NO₂ ha ajudat a complementar les dades de l'estació automàtica a l'Aula de Música dibuixant la distribució espacial de contaminació.

El mètode utilitzat per avaluar la qualitat de l'aire de la ciutat és de baix cost, es pot aplicar d'una manera ràpida i ajuda a obtenir una variació espacial molt extensa de la zona.

La xarxa de la qualitat de l'aire es de 18 punts de mesura. Els diferents punts de mostreig de l'estudi inclouen punts de fons (allunyats del trànsit) (3) i punts de trànsit (15) de la ciutat. Aquesta varietat de punts han ajudat a comprendre les diferents contribucions a la contaminació a diferent punts de la ciutat.

La font de contaminació de l'aire més important de la ciutat de Girona és l'emissió de contaminants de vehicles motoritzats. S'ha estimat que els nivells als quals la majoria de la població de la ciutat està exposada (nivells de fons) estan molt per sota del valor límit de 40 ug/m³, amb nivells entre 22.9 i 30.2 ug/m³. Es podria concloure que la qualitat de l'aire a la ciutat, en general, és saludable.

Els resultats de la xarxa semi-permanent continuen identificant àrees conflictives dins la ciutat. Els punts més vulnerables continuen sent fruit d'una quantitat elevada de trànsit, congestió considerable i carrers amb característiques que dificulten la dispersió del contaminant (especialment, carrers estrets). Els resultats del 2018 indiquen nivells mitjans-alts de contaminació en punts concrets de la ciutat. *Els nivells de NO₂ en punts de trànsit* a Girona oscil·len entre 28.7 i 68.6 ug/m³. Els punts de la xarxa amb nivells més elevats de trànsit són:

- Ronda Ferran Puig (05) amb 68.6 ug/m³,
- C. Pont Major (10) amb 47.7 ug/m³,
- Ctra Barcelona - Bolera (08) amb 45.4 ug/m³,
- Devesa - Ronda (25) amb 43.2 ug/m³ i
- C. Rutlla (04) amb 42.3 ug/m³.

La majoria de punts de fons de Girona són inferiors al valor límit de 40 ug/m³. Els nivells de fons lluny de vies principals oscil·la entre 22.9 i 30.2 ug/m³. Aquests nivells tendeixen a ser representatius de zones més amples on està exposada més població que no els punts de trànsit.

L'estudi més detallat de la qualitat de l'aire a la ciutat de Girona ha aportat informació extra sobre les diferents contribucions de contaminació. A més a més, ajuda a entendre millor les possibles problemàtiques que afecten la mobilitat de la ciutat i la contaminació atmosfèrica. La millora de la qualitat de l'aire en zones urbanes és un tema complex ja que aquestes concentren una gran quantitat d'activitats que afecten a la mobilitat. En els últims anys, arreu d'Europa diferents actuacions s'han portat i s'estan portant a terme per millorar la qualitat d'aquestes zones. Segons els resultats obtinguts en l'estudi es recomanen els següents punts relacionats en la millora i l'aprofundiment de la qualitat de l'aire.

6.1 Seguiment de la qualitat de l'aire

L'Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Girona ha identificat el trànsit com la font més important de contaminació atmosfèrica. S'ha estimat que els nivells al quals la majoria de la població de la ciutat està exposada són nivells saludables. Aquests estan per sota del valor límit de 40 ug/m³.

Tot i això, també s'han identificat punts vulnerables pròxims a vies molt transitades, amb congestió important i/o molt estrets. Aquest punts conflictius representen punts localitzats en vies importants com la Ronda Ferran Puig, Pont Major, carretera Barcelona i carrer de la Rutlla. És important que es continuï fent un seguiment en aquells punts amb nivells per sobre del VL. **La xarxa semi-permanent hauria de tenir una continuïtat durant l'any 2019.**

Referències

Carslaw, D i K Ropkins (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling and Software* 27-28, 52 - 61.

DEFRA. Department for the Environment, Food and Rural Affairs. <http://www.nerc.ac.uk/>.

- EuropeanCommission (2017). *Attitudes of European citizens towards the environment*.
- EuropeanEnvironmentAgency (2018). Exceedance of air quality standards in urban areas (CSI 004). *EEA Report*,
- GBD 2016 Risk Factors Collaborators, 2 (2017). Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet* **390**(10100), 1345 - 1422.
- GeneralitatDeCatalunya (2018). *La qualitat de l'aire a Catalunya – Anuari 2017*.
- HEI (2018). State of global air 2018, Special Report. *Health Effects Institute, Boston, MA*.
- Lim S. S., ea (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet* **380**(9859), 2224 - 2260.
- NERC. *Natural Environment Research Council*. <http://www.nerc.ac.uk/>.
- Targa (2001). *Urban air quality monitoring in Girona by passive diffusion sampling*. Inf. tèc. School of Biological, Molecular Sciences i School of Planning. Oxford Brookes University.
- WHO (2005). Effects of air pollution on children's health and development — a review of the evidence, *World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen*.
- WHO (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution — REVIHAAP Project, Technical Report. *World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen*.
- WHO (2014). Burden of disease from ambient air pollution for 2012 — summary of results, World Health Organization. *World Health Organization*.
- WHO (2016). Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. *World Health Organization*.