

MonitorAire NO₂

Projecte de ciència ciutadana

Resum de la prova pilot per al mapeig de la contaminació per NO₂ realitzada al municipi de Vic.



Diputació
Barcelona

Prova pilot per la conscienciació sobre les implicacions per la salut de la contaminació amb NO₂ provinent del trànsit, utilitzant la ciència ciutadana.

Realitzada a Vic, any 2025

Coordinació

Servei de Salut Pública. Diputació de Barcelona

Autoria:

Diputació de Barcelona

Institut de Salut Global de Barcelona

Ajuntament de Vic

Science for Change

Monitor
l'aire NO₂



Contingut

Introducció.....	4
2. Metodologia	4
2.1 Resum del procés participatiu de ciència ciutadana.....	4
2.2 Metodologia de captació de les dades de contaminació	8
2.3 Nombre i distribució dels tubs instal·lats.....	9
3. Resultats.....	11
3.1 Anàlisi i tractament dels tubs.....	11
3.2 Anàlisi i tractament de dades.....	11
3.3 Resultats relatius a la pregunta de recerca 1	17
3.4 Resultats relatius a la pregunta de recerca 2	22
4. Implicacions per a la salut pública i recomanacions per la gestió municipal	29
4.1 Implicacions per la salut.....	29
4.2 Gestió municipal urbanística sostenible.....	32
5. Conclusions	33
6. Bibliografia.....	35

Introducció

La iniciativa de ciència ciutadana va ser impulsada per la Diputació de Barcelona, amb el suport científic de ISGlobal, i va tenir com a objectiu sensibilitzar la població sobre la qualitat de l'aire i els seus efectes en la salut, alhora que es va posar a prova un protocol de ciència ciutadana extrapolable a altres municipis del territori. És una prova pilot per la conscienciació sobre les implicacions per la salut de la contaminació amb NO₂ provinent del trànsit, utilitzant la ciència ciutadana. Aquest pilotatge es va realitzar a Vic al llarg de l'any 2025.

Aquesta prova pilot, implementada al municipi de Vic, es va centrar en la implicació activa de la ciutadania en el monitoratge del diòxid de nitrogen (NO₂) mitjançant l'ús de tubs de mesura de difusió passiva. A través d'aquest procés, que utilitza metodologies de ciència ciutadana, s'afavoreix una millor comprensió dels nivells de contaminació atmosfèrica i del seu impacte en la salut pública, tot promovent el diàleg entre ciència, administració i població. A les ciutats, l'NO₂ és un dels contaminants més preocupants, i tot i que pot provenir d'algunes fonts industrials i de calderes, prové principalment dels vehicles de combustió (sobretot els dièsel). És per això que és un bon indicador de la contaminació atmosfèrica a les ciutats deguda al trànsit de vehicles.

El projecte es va estructurar en tres fases: una primera fase prèvia de planificació i coordinació, una segona fase d'implementació participativa i una tercera fase d'anàlisi i divulgació dels resultats. En la primera fase es va fer una aproximació en el sentit de valorar l'efecte de la presència del contaminant diòxid de nitrogen en relació a la salut pública a la demarcació de Barcelona i en el seu estudi a través de metodologies pròpies de la ciència ciutadana; a la segona fase es va fer el procés participatiu amb èmfasi en les modificacions necessàries del protocol per tal de maximitzar l'èxit de la seva implementació; a la tercera i darrera fase es va realitzar l'anàlisi i el retorn de resultats. En aquesta fase es van interpretar i comunicar els resultats obtinguts a la ciutadania. A més es va continuar desenvolupant una valoració general de la implementació del projecte, que se suma a la iniciada durant la fase prèvia, de cara a identificar millores per incorporar al protocol.

2. Metodologia

2.1 Resum del procés participatiu de ciència ciutadana

En aquest apartat es fa una recapitulació sobre quins han estat els punts més rellevants de les activitats de ciència ciutadana dutes a terme amb els voluntaris participants de la ciutat de Vic.

Preparació i adaptació del protocol

El punt de partida va ser l'adaptació del protocol de mesura de NO₂ dissenyat per ISGlobal (protocol metodològic i protocol tècnic). Mitjançant reunions de treball amb ISGlobal, l'Ajuntament de Vic i la Diputació de Barcelona, es va ajustar la metodologia al context específic del municipi.

En aquestes reunions inicials es van prendre decisions clau per a la implementació:

- **Participants:** L'activitat es va obrir a totes les persones majors d'edat del municipi.
- **Àmbit d'estudi:** Es va decidir cobrir tot el nucli urbà de Vic, en lloc de limitar-ho a un barri concret.
- **Nombre de tubs:** Es va establir un objectiu inicial d'uns 30 participants i la instal·lació d'aproximadament 70 tubs de difusió passius.

Paral·lelament, l'equip de Science For Change va dissenyar tots els materials per als tallers i va adaptar les dinàmiques de participació, destacant l'ús del kit d'hexàgons SFC Tools per facilitar el codisseny de manera col·laborativa i sostenible. La captació de participants va requerir un esforç proactiu i multifàsic (contactes institucionals, campanyes per correu, trucades telefòniques i mapatge de nous agents) per assolir la participació necessària.

Tallers de codisseny

El nucli de la participació ciutadana es va articular a través de dues sessions de codisseny:

La primera sessió es va dur a terme el 19 de maig de 2025 i hi van participar 15 persones. L'objectiu principal d'aquesta primera trobada era doble. Per una banda, es pretenia realitzar un diagnòstic participatiu sobre la percepció de la qualitat de l'aire a la ciutat i complementar-lo amb una presentació, per part de l'Ajuntament de Vic, sobre la contextualització urbanística del municipi i, per part d'ISGlobal, sobre l'impacte del NO₂ en la salut humana. Per altra banda, la sessió també perseguia codissenyar les preguntes de recerca que guiarien el projecte, partint de les inquietuds dels assistents.

Mitjançant dinàmiques de grup, es van formular múltiples preguntes, de les quals es van prioritzar tres, relacionades amb l'impacte del trànsit en zones poblades i escolars, la diferència entre zones obertes i tancades, i la influència de les zones verdes. Aquestes preguntes van ser refinades per l'equip de SFC i ISGlobal i adoptades pels participants, per esdevenir les següents:

- La proximitat a zones verdes influeix en la concentració de diòxid de nitrogen en zones escolars?
- Quina diferència es dona en la concentració de diòxid de nitrogen entre zones obertes i zones tancades?

La segona sessió va tenir lloc el 29 de maig de 2025, va comptar amb 13 participants i el focus principal d'aquest taller va ser el mapeig col·lectiu. Els participants van decidir estratègicament sobre mapes de Vic la ubicació dels tubs de mesura per tal de donar resposta a aquestes dues preguntes. Al llarg del procés, una de les taules es va veure amb l'obligació de modificar la seva pregunta de recerca perquè no hi havia consens en els criteris de classificació per distingir les zones obertes de les zones tancades. De manera que la pregunta de recerca final va reconfigurar-se de la següent manera: Quina diferència es dona en la concentració de diòxid de nitrogen entre diferents tipus de vies: principals, secundàries i veïnals?

En finalitzar, es van distribuir els kits de mesura i es van donar les instruccions per a la seva instal·lació i per a l'ús de l'aplicació mòbil.

Treball de camp: instal·lació i recollida

Durant les setmanes següents a la segona sessió, es va realitzar un seguiment constant dels participants per correu electrònic per resoldre dubtes sobre la instal·lació, l'ús de l'aplicació i la gestió de les fitxes de camp.

La fase de treball de camp va culminar el 17 de juny de 2025 amb la jornada de recollida dels tubs al Centre Cívic Can Pau Raba, on es va aprofitar per recollir el retorn oral dels participants sobre l'experiència.

En total, es van recuperar 66 tubs de mesura (61 instal·lats per la ciutadania, 3 tubs de referència a l'estació de vigilància i 3 tubs blancs de control). Aquest conjunt de dades recollides és la base per a la fase d'anàlisi i presentació de resultats que s'exposa a continuació.

Anàlisi de resultats i seguiment dels participants

El tram final del projecte MonitorAire NO₂ s'inicia amb la recepció dels resultats dels tubs. Una vegada rebuda la informació, es va crear un mapa amb la ubicació de tots i cadascun dels tubs utilitzats i recuperats. Per tal de constituir el mapa es van fer servir les dades de geolocalització procedents de l'aplicació i les adreces que els participants van indicar a la fitxa del camp. Tanmateix -i especialment en el darrer cas- quan la ubicació dels tubs no estava indicada de forma precisa, SFC es posava en contacte amb les persones participants per determinar el punt exacte del tub. Així mateix, una vegada el mapa va estar complet es va enviar a les persones participants perquè confirmessin que el seu tub estava on tocava i, en cas de no ser-hi, s'hi van fer les correccions pertinents. Una vegada generat el mapa, es va analitzar els resultats per poder elaborar el present informe.

Retorn de resultats

La sessió de retorn de resultats es va dur a terme el 22 d'octubre de 2025 de 18h a 20h a l'equipament de Les Adobaries, al municipi de Vic. Hi van assistir 13 persones, entre les quals destacaven les persones que tant havien assistit a les darreres sessions com col·locat tubs. També van venir dues persones que no havien participat en les altres sessions, però sí que havien posat tubs i una que desconeixia el projecte.

La sessió va ser dissenyada per Science For Change d'acord amb el protocol ideat per ISGlobal. Tanmateix, atès que depenia directament dels resultats, SFC va ser el responsable d'establir l'agenda de la sessió amb el suport d'ISGlobal.

Els objectius principals de la sessió eren presentar els resultats a la ciutadania contextualitzats per respondre a cada pregunta de recerca i interpretar aquestes dades de forma col·laborativa per conceptualitzar propostes de millora per reduir la concentració d'NO₂ a la ciutat. De manera que la sessió es va dividir en tres parts ben diferenciades; sense comptar amb l'inici de la sessió -en què es va preparar un petit càtering i en Josep Coma, coordinador de l'Àrea de Comerç, Consum i Salut Pública de la Diputació de Barcelona, i l'Ester Coma, regidora de Medi Ambient de l'Ajuntament de Vic, van presentar la sessió amb un breu discurs.

La primera part de la sessió va consistir en un breu resum de les sessions anteriors. La Glòria Carrasco, d'ISGlobal, va presentar el treball realitzat a les darreres sessions i va recordar quins eren els principals impactes de l'NO₂ sobre la salut humana.

La segona part tractava el retorn de resultats. L'Òscar Larraga, de SFC, va procedir a mostrar l'anàlisi que s'havia dut a terme amb els registres dels tubs de difusió passiva. Aquest retorn de resultats es va efectuar en clau col·laborativa, combinant l'exposició per part de SFC amb la participació de les persones presents. Així mateix, al llarg de la presentació de resultats, les persones participants podien anar escrivint sobre hexàgons verds i vermells les característiques que suposaven una concentració més baixa o més alta de NO₂, respectivament. Primerament, es va mostrar una visió general de les dades i seguidament es van presentar la visualització de resultats, per mitjà de mapes i gràfics, per tal que les persones participants poguessin donar resposta a cada pregunta per separat. Per tal que els i les assistents poguessin seguir la sessió amb comoditat, es van imprimir dos mapes per cada taula, un corresponent a cada pregunta de recerca, que mostraven els punts monitorats i la concentració d'NO₂ de cadascun.

La darrera part va ser una activitat de codisseny en què -prenent com a referència les característiques urbanístiques i altres activitats antròpiques, detectades durant la presentació- que tenen un efecte sobre la concentració d'NO₂, les persones participants havien d'idear solucions per tal de reduir les concentracions de diòxid de nitrogen a Vic. Aquestes solucions tant podien referir-se a propostes relacionades amb la planificació urbanística del municipi com amb hàbits individuals. Alhora, amb cada solució, les persones participants havien de remarcar quins reptes s'oposen a aquella solució o quins avantatges comporta el territori per la seva implementació.

Les persones assistents van participar de forma activa, mostrant un alt nivell d'interès i coneixement en la temàtica tant durant la presentació de resultats com durant les dinàmiques de codisseny. A més a més, al final de la sessió, se'ls va convidar a valorar la seva experiència i les diferents eines utilitzades al llarg del projecte, moment en què van aportar nombroses propostes, idees i noves línies de reflexió.

2.2 Metodologia de captació de les dades de contaminació

La recerca efectuada en el projecte MonitorAire NO₂ es va basar en la captació passiva de diòxid de nitrogen (NO₂) mitjançant tubs de difusió del tipus Palmes (Figures 1 i 2), en el marc d'un projecte de participació ciutadana. Aquest instrument s'utilitza per registrar la concentració mitjana de NO₂ en un punt determinat, a partir de la seva exposició durant un període concret de temps.

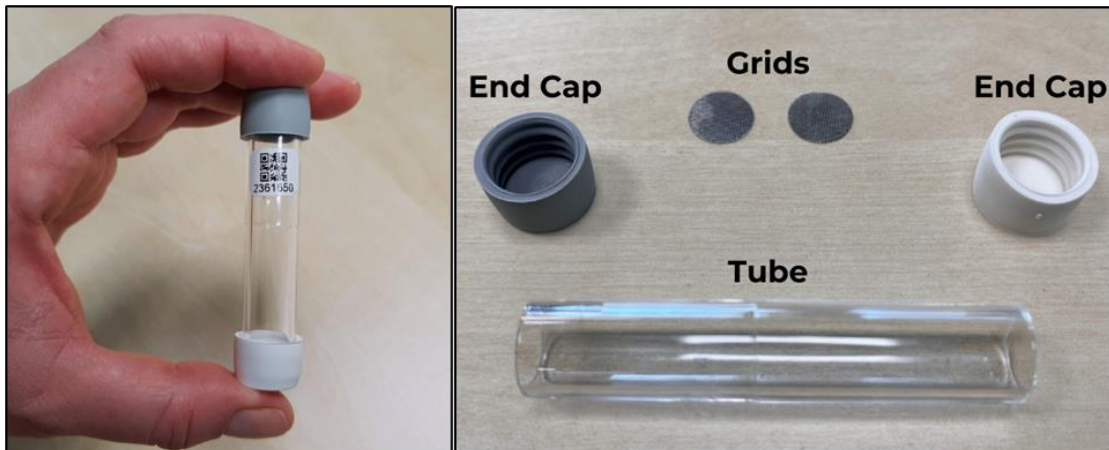


Figura 1: Tub de difusió tipus Palmes amb ambdós taps.

Figura 2: Components del tub

El seu funcionament senzill fa que la ciutadania pugui utilitzar-los sense necessitat de disposar de coneixements científics previs, habilitats tècniques específiques ni una dedicació significativa de temps o esforç. Per aquest motiu, constitueixen una eina idònia per a projectes de ciència ciutadana, en què les persones participants no són professionals de la recerca. A més, es tracta d'un sistema de mesura indicatiu que complementa les dades obtingudes per les estacions automàtiques de control de la qualitat de l'aire i que és especialment útil per a estudis preliminars sobre la distribució espacial de contaminants atmosfèrics.

Els principals avantatges respecte als equips automàtics són:

- Cost reduït en comparació amb els sistemes de mostreig actiu o les estacions de monitoratge automatitzades.
- Permet instal·lar nombrosos punts de mostreig en un mateix període.
- Facilitat d'instal·lació i manteniment (no requereix calibratge ni electricitat).

Els tubs de mesura passiva d'NO₂ utilitzats són de tipus Palmes i consisteixen en un tub acrílic (7,1 cm de llarg, diàmetre intern d'1,1 cm) amb una membrana impregnada de tri etanolamina (TEA) a la part al tap superior, just a sota del tap, que absorbeix l'NO₂ per difusió molecular. Les molècules són retengudes a la part interior del tub. Després del període d'exposició (2-4 setmanes), els tubs es tapen i s'envien al laboratori per a l'anàlisi per espectrofotometria,

convertint les dades de nitrat a concentració d'NO₂ (µg/m³). Els tubs passius utilitzats en aquesta campanya van ser subministrats i analitzats pel laboratori Gradko International (Regne Unit), mitjançant la intermediació de 4sfera Innova. El grau d'incertesa associat a aquest tipus de tubs passius, és inferior al 30% . Aquest marge d'error es considera habitual en mètodes indicatius i és acceptable per a estudis ambientals, garantint que les dades obtingudes siguin representatives de les condicions reals durant el període de mostreig.

Els tubs passius es van instal·lar entre el 29 de maig i el 2 de juny i es van retirar entre el 16 i el 17 de juny, amb un període d'exposició comprès entre 366 i 437 hores (15-18 dies).

2.3 Nombre i distribució dels tubs instal·lats

Per a la campanya es van utilitzar 70 tubs de difusió passiva per a la captació de diòxid de nitrogen (NO₂). La ciutadania va instal·lar pel municipi de Vic un total de 64 tubs; també es van instal·lar tres tubs a l'estació de Qualitat de l'Aire de Vic, i es van guardar 3 tubs blancs per establir el valor de fons.

Els tubs es van repartir a parts iguals per cada pregunta de recerca. La meitat dels tubs es van ubicar pensant en respondre a la influència de les zones verdes i l'altra meitat en la diferència que es dona en funció de la tipologia de la via.

Dels 64 tubs instal·lats per les persones participants (figura 3), 10 es van situar en domicilis particulars i 54 en espais públics. D'aquests espais públics, els tubs passius es van instal·lar majoritàriament en elements urbans comuns i accessibles, com fanals, senyals de trànsit, exterior d'edificis i, en alguns casos, persianes d'escoles. Altres suports habituals de la via pública han estat els baixants d'aigua i, de manera puntual, s'han utilitzat elements vegetals, com arbres o canyes de bambú (especialment en zones més apartades de la ciutat), conductes de protecció del cablejat i posts de telecomunicacions. Pel que fa als espais privats, destaquen l'exterior d'edificis, com balcons, terrasses o finestres. Això mostra que les instal·lacions s'adaptaven principalment a elements ja presents i fàcilment accessibles.

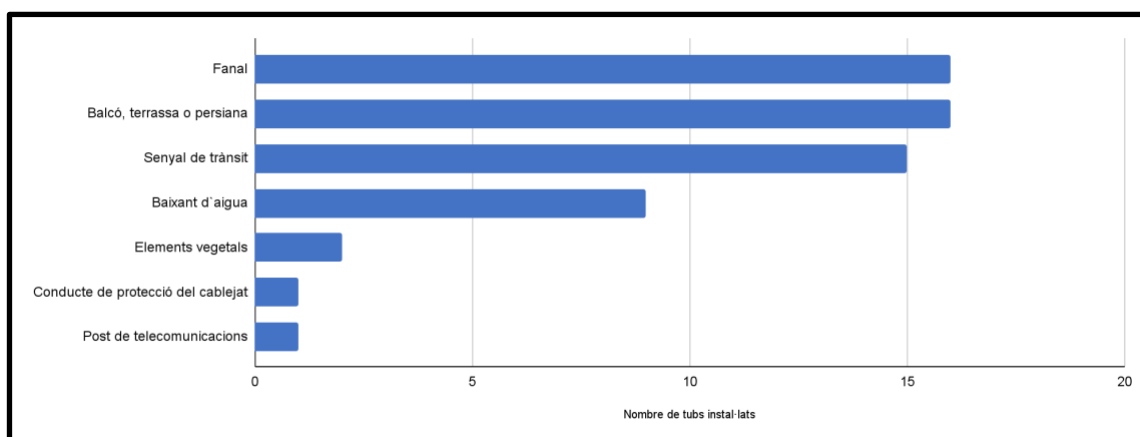


Figura 3: Distribució de la ubicació dels tubs instal·lats

Segons la classificació proporcionada pels mateixos participants (figura 4), 18 punts es corresponen amb zones de fons urbà (ubicacions a més de 25 metres de vies amb trànsit motoritzat, com ara parcs, places, zones verdes o carrers exclusivament per a vianants) i 42 punts amb zones de trànsit (ubicacions a menys de 10 metres d'una carretera amb circulació de vehicles). A l'espai públic, els tubs es van instal·lar preferentment en fanals o senyals de trànsit.

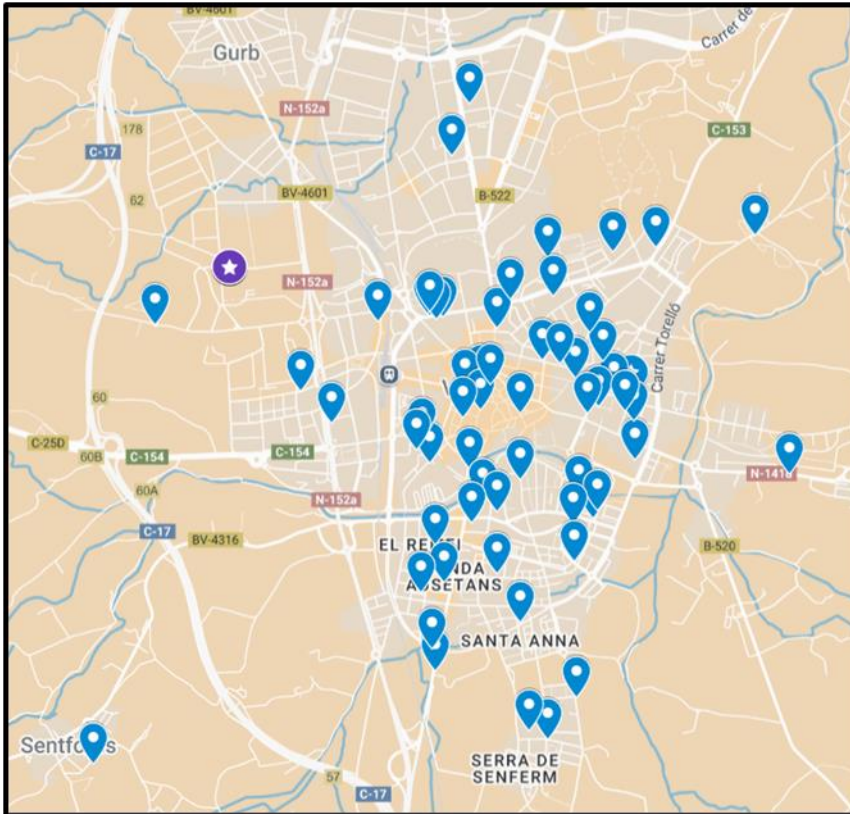


Figura 4: Distribució de la ubicació dels tubs instal·lats

En relació amb l'alçada d'instal·lació, la recomanació va ser a 2,5 m d'alçada respecte el carrer. Dels tubs instal·lats es van registrar valors compresos entre 2,0 m i 9,0 m, amb una moda corresponent a 3,0 m, alçada a la qual es van col·locar 18 tubs. El valor mínim (2,0 m) es va donar en 6 punts de mostreig, mentre que el màxim (9,0 m) correspon únicament a un tub.

És rellevant destacar que 46 tubs es van instal·lar a una alçada superior a la recomanada en el protocol (2,5 m), amb un rang d'entre 2,75 m i 4,0 m. Aquesta desviació pot influir en les concentracions mesurades, atès que la dispersió dels contaminants varia en funció de l'alçada. Per aquest motiu, caldrà tenir en compte aquesta variable en la interpretació dels resultats i en la comparació entre punts. Atès que a partir dels 4 metres d'alçada la variació en la concentració d'NO₂ és significativa, s'ha optat per excloure de l'anàlisi els tres tubs situats per sobre d'aquest

llindar. Alhora, s'examinaran amb especial atenció els cinc tubs col·locats exactament a 4 metres, amb l'objectiu de garantir la fiabilitat dels resultats.

3. Resultats

3.1 Anàlisi i tractament dels tubs

Les primeres dades i incidències comunicades pel laboratori responsable de l'anàlisi dels 70 tubs instal·lats corresponen als resultats preliminars del mostreig, encara sense tractament estadístic, i són les següents:

A més de diferents incidències en alguns dels tubs instal·lats, un total de 8 dels tubs recuperats es van instal·lar a una alçada superior als 4 metres. Tenint en compte que el diòxid de nitrogen tendeix a dispersar-se més amb l'altura, i que el projecte se centra en la salut pública —és a dir, en la qualitat de l'aire a nivell del sòl, el que respiren els ciutadans i les ciutadanes—, s'ha decidit excloure de l'anàlisi tots els tubs instal·lats a 4 metres o més.

En conseqüència, l'anàlisi de la concentració d'NO₂ a la ciutat de Vic s'ha realitzat a partir del registre de 52 tubs. D'aquests punts, 27 corresponen a la primera pregunta de recerca, que relaciona la concentració d'NO₂ amb la proximitat a les zones verdes i als centres educatius, i 25 corresponen a la segona pregunta de recerca, que analitza si la concentració d'NO₂ està vinculada al tipus de via pública.

3.2 Anàlisi i tractament de dades

El mètode de presa de dades mitjançant tubs passius representa un tipus de presa de mostres senzill i econòmic per mesurar contaminants atmosfèrics, que aporta dades complementàries a les obtingudes amb els mètodes oficials. Tot i ser una tècnica indicativa, resulta especialment útil en estudis que requereixen una cobertura espacial àmplia. En aquest cas, per validar-ne els resultats, s'ha dut a terme una col·locació; s'han instal·lat tres captadors passius a l'estació de mesura de la XVPCA a Vic, ubicada a prop de l'estadi municipal d'atletisme, i on es va podran comparar els resultats dels tubs amb els valors de referència de l'estació.

A partir de les dades que recullen els valors longitudinals de concentració d'NO₂ a Vic durant un any, s'ha calculat un factor de correcció d'e 1,09, que indica una molt bona concordança entre ambdós mètodes i, per tant, la fiabilitat de les mesures amb tubs passius. Addicionalment, la ràtio entre el valor més alt i el més baix del triplicat va ser d'e 1,08, evidenciant una variabilitat mínima i reforçant la consistència dels resultats. L'evolució diària de la concentració d'NO₂ a Vic segons l'estació de referència es va pot observar a la Figura 5.

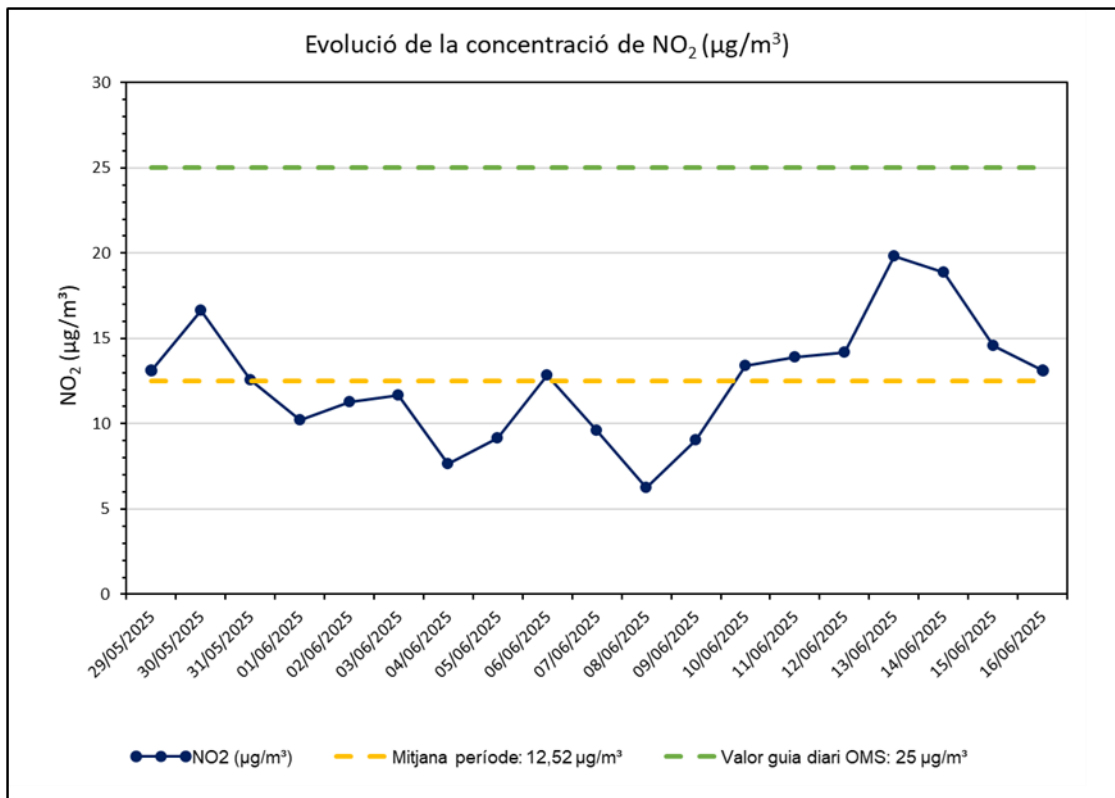


Figura 5: Evolució diària de la concentració de NO2 a Vic segons l'estació de referència

Tot i això, aquest factor de correcció no s'ha aplicat a la resta de dades perquè tot i obtenir un factor de correcció local fiable (1,09) per a nivells baixos d'NO₂, no es pot garantir que sigui aplicable a concentracions més altes o a altres períodes. D'altra banda en aquest estudi, els resultats que es presenten són els valors directament reportats pel laboratori, sense aplicació del factor de correcció calculat.

3.3 Resultats generals i contextualització de les dades

Els resultats obtinguts als punts de mostreig del municipi mostren concentracions d'NO₂ compreses entre 5,2 µg/m³ i 29,9 µg/m³, amb una mitjana general de 16,8 µg/m³, una mediana de 16,1 µg/m³ i un coeficient de variació del 33%, el que indica un grau rellevant de variabilitat entre els diferents tubs instal·lats.

Pel que fa a les mesures preses a l'estació de qualitat de l'aire de Vic, la mitjana del triplicat de tubs passius va ser de 11,5 µg/m³ (valors individuals: 11,84; 11,71; 10,93 µg/m³). La gran diferència entre la mitjana dels tubs instal·lats per la ciutadania, amb els tubs de l'estació de qualitat de l'aire es va deure al fet que l'estació es troba allunyada del casc urbà, en una zona oberta, rodejada de prats i arbres i allunyada dels focus d'emissió d'NO₂ principals a la ciutat; mentre que les persones participants van instal·lar els tubs als carrers del casc urbà de Vic. Per tant,

podem afirmar que els registres de l'estació de qualitat de l'aire de Vic no són molt representatius de l'aire que respiren els seus habitants.

La Figura 6 mostra la distribució dels punts amb codi de color segons si es va troben per sota de les recomanacions de l'OMS o per sobre de la normativa europea, i la Figura 7 il·lustra el nivell de concentració de NO₂ per tub classificat segons aquestes recomanacions.

Estació de qualitat de l'aire de Vic

Concentració de NO₂ de 0 a 10 µg/m³ (nivell òptim)

Concentració d'NO₂ de 10 a 20 µg/m³ (nivell acceptable)

Concentració superior a 20 µg/m³ (nivell deficient)

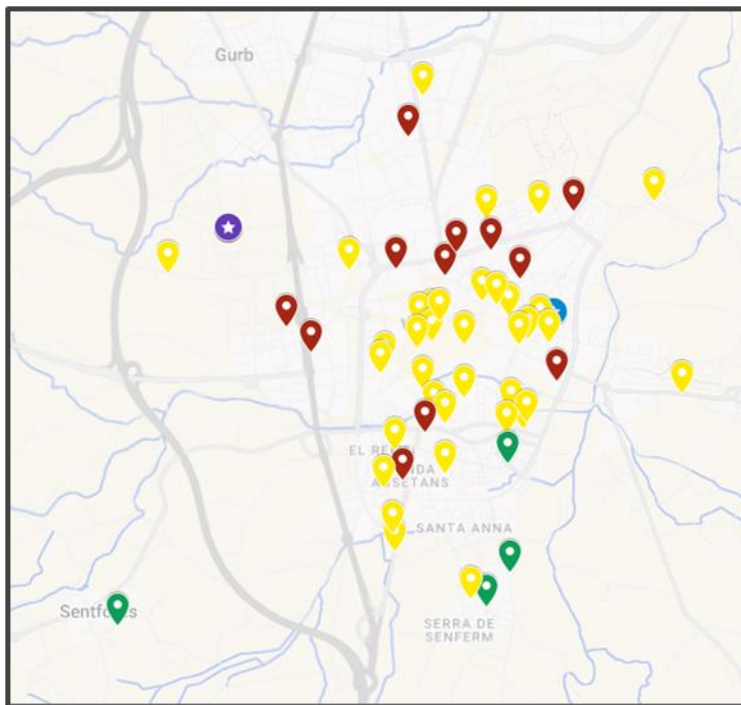


Figura 6: Distribució dels punts amb codi de color segons si es va troben per sota de les recomanacions de l'OMS o per sobre de la normativa europea.

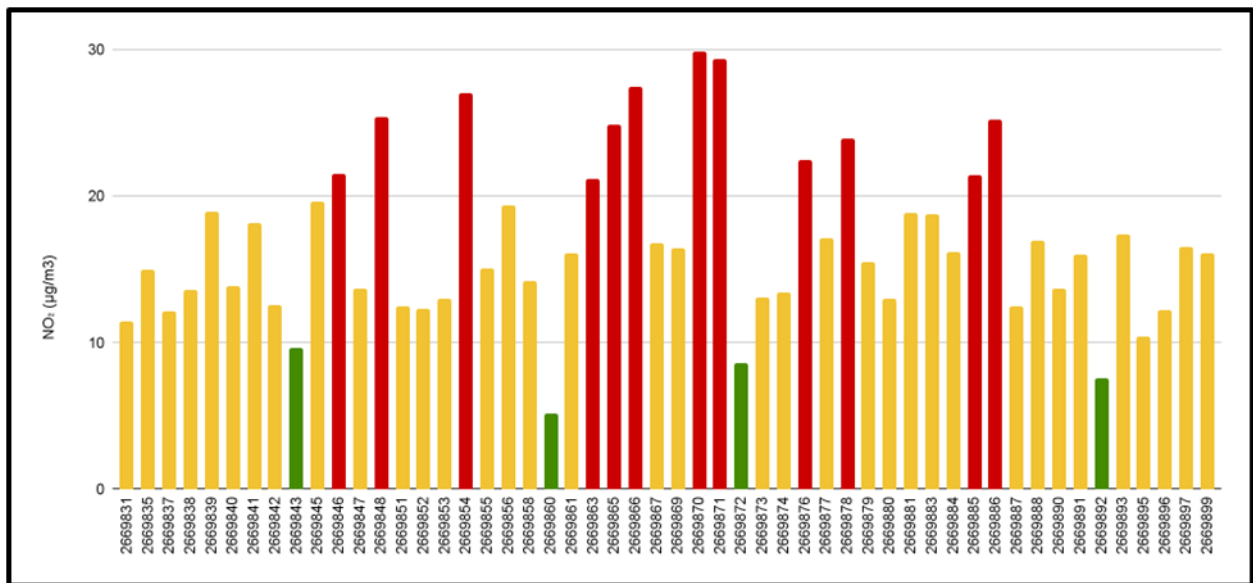


Figura 7: Nivell de concentració de NO₂ per tub classificat per codi de color segons les recomanacions de l'OMS i la Directiva Europea

L'anàlisi individual dels punts de mostreig indica que 12 localitzacions superen el nou límit anual establert per la Directiva Europea (20 µg/m³), mentre que tots els punts, excepte quatre, es troben per sobre de la recomanació anual de l'Organització Mundial de la Salut (10 µg/m³).

Com a anàlisi general, la comparativa del gràfic i el mapa mostra que els valors més baixos es registren en zones amb menor densitat urbana i amb presència significativa d'espais verds. Entre aquestes àrees destaquen el carrer Gurri, situat a la urbanització Serra de Sant Ferm, en un entorn obert, verd i residencial; l'urbanització Sentfores, barri perifèric envoltat de zones enjardinades; el carrer Josep Prat de Basa, una avinguda àmplia situada a l'extrem del nucli urbà amb espais verds adjacents; i el passatge Creu del Marcé, una zona tranquil·la de blocs d'habitatges situada al costat de camps oberts.

En canvi, els punts amb concentracions més elevades es localitzen en vies urbanes de gran intensitat de trànsit i elevada densitat d'edificis. Entre aquests destaquen l'avinguda Generalitat, una artèria principal del municipi amb dues direccions i tres carrils –més un d'estacionament–, edificis de cinc a sis plantes a ambdós costats i un volum considerable de trànsit rodat que la converteix en una via de connexió amb el centre històric; el carrer Bernat Calbó –que forma part de la ronda que voreja el centre de la ciutat–, un vial ampli amb dos carrils per sentit, flanquejat per edificis d'entre dues i quatre plantes a una banda i un centre educatiu a l'altra; i la carretera Ronda, situada al centre del municipi, que connecta el casc antic amb la via perimetral i disposa de dos sentits de circulació i carrils d'aparcament a ambdues bandes.

Per altra banda, contextualitzar els resultats dins del període de mostreig és essencial per a la seva correcta interpretació. La Figura 8 mostra la variabilitat de la concentració d'NO₂ al llarg de l'any. El gràfic mostra com els nivells de concentració són més elevats durant els mesos més freds (de desembre a febrer), mentre que la concentració disminueix durant els mesos d'estiu.

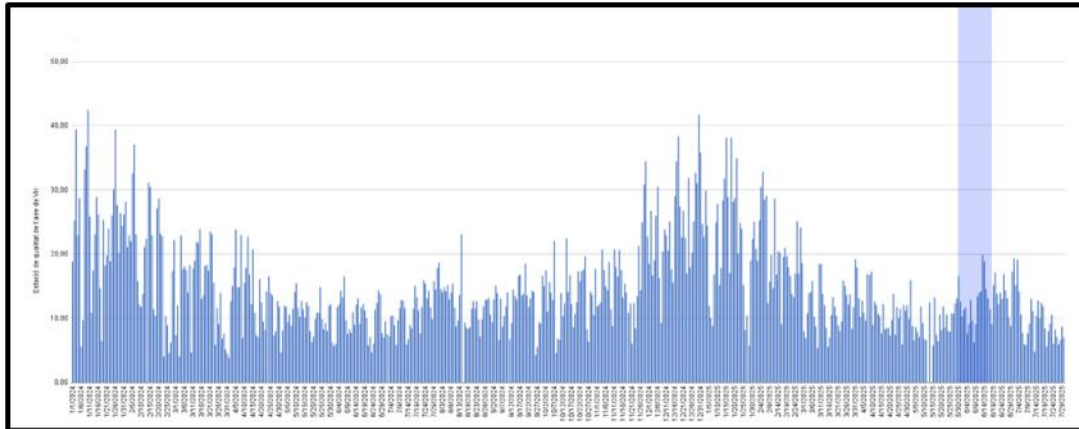


Figura 8: Concentració diària d'NO₂ a l'estació de qualitat de l'aire de Vic.

Aquesta diferència es va pot explicar principalment per les condicions atmosfèriques: a l'hivern, la inversió tèrmica nocturna és més intensa i l'atmosfera es va troba més estable, reduint els processos de dispersió i afavorint l'acumulació dels contaminants a les capes més baixes. A més a més, la radiació dels mesos més calorosos activa la fotòlisi, el trencament de les molècules d'NO₂, fent que el nitrogen i l'oxigen se separin. Aquest procés porta al fet que l'oxigen després s'uneixi a altres molècules d'oxigen, produint ozó (O₃). Aquest ozó, conegut com a ozó troposfèric, és un gas contaminant nociu per a la salut, ja que afecta principalment el sistema respiratori, provocant irritacions, agreujant malalties cròniques i reduint la capacitat pulmonar. Altres fenòmens meteorològics també poden intervenir en l'alteració de la concentració de NO₂, com ara les precipitacions, que contribueixen a disminuir la concentració d'NO₂ mitjançant processos de deposició i rentat atmosfèric.

En aquest context, la situació de Vic no és tan favorable com podria semblar, ja que els tubs de difusió proporcionen només una exposició mitjana del període mostrejat i, en canvi, les guies de qualitat de l'aire de l'OMS i els valors establerts per la Legislació Europea es va basen en mitjanes anuals, cosa que obliga a contextualitzar les dades segons l'època de l'any. En el cas de Vic, el mostreig es va realitzar entre finals de maig i mitjans de juny, un període caracteritzat per valors relativament baixos d'NO₂ en comparació amb la resta de l'any, especialment en relació als mesos entre desembre i febrer, que solen presentar concentracions més elevades. Per això és raonable pensar que la mitjana anual real seria superior als 16,8 µg/m³ obtinguts, més encara si considerem que aquest valor ja supera el límit recomanat per l'OMS (10 µg/m³) i que només es va troba 3,2 µg/m³ per sota del futur límit europeu de 20 µg/m³; això suggereix que durant els mesos de màxima contaminació la superació dels límits podria ser encara més marcada i contribuir a un increment significatiu de la mitjana anual.

Per a tenir mesures més exactes i fiables de la contaminació en els punts mostrejats caldria doncs realitzar mesures d'NO₂ amb tubs de difusió de manera consistent al llarg d'un període prolongat de temps, duent a terme diverses campanyes de mesura al llarg de l'any. Aquest enfocament sistemàtic ens permetria analitzar millor les tendències de qualitat de l'aire al llarg

de l'any i tenir més informació per dur a terme la presa de decisions informades basades en les dades recollides.

Com a referència, durant el mes d'octubre de 2024 es va realitzar un estudi complementari amb 21 punts de mostreig, en els quals es van instal·lar tubs de difusió passiva. Malgrat que l'estudi només va registrar una concentració de 5,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ superior a l'obtinguda al juny, s'ha de tenir en compte que mentre al juny no es van registrar precipitacions, a l'octubre hi va haver deu dies de pluja.

Relació amb estudis previs a la ciutat de Vic

L'any 2024 es va realitzar un estudi per caracteritzar els nivells de diòxid de nitrogen (NO_2) en diversos punts del municipi de Vic (Diputació de Barcelona, 2025). El període de mostreig va tenir una durada de 21 dies, comprès entre el 22 de febrer i el 14 de març de 2024. Per a la campanya es van instal·lar 24 captadors passius de difusió tipus Palmes, dels quals se'n van obtenir 23 dades vàlides. Quatre d'aquests captadors es van ubicar a l'estació automàtica de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA) situada a Vic, amb l'objectiu de disposar d'un punt de referència, tal i com s'ha fet per aquest estudi. Durant el període de mesura es van enregistrar 8 dies de precipitació, amb un total acumulat de 65,5 mm.

La concentració d' NO_2 mesurada a l'estació de referència va ser de 14,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lleugerament superior a l'enregistrada durant aquest estudi (11,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). No es disposa de dades històriques d'aquest punt per a principis de l'any 2024, ja que l'analitzador automàtic d' NO_2 s'havia incorporat a l'estació l'any anterior, fet que impedeix comparar els nivells de finals de maig-mitjans de juny amb les dades obtingudes pels tubs passius instal·lats per l'estudi.

La concentració mitjana d' NO_2 mesurada al conjunt de punts de Vic va resultar moderada, amb un valor de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, amb les concentracions més elevades de fins a 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en una via caracteritzada per una elevada intensitat de trànsit, i el valor més baix de la campanya –14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – es va obtenir a l'estació de referència ubicada a l'Estadi Municipal d'Atletisme, una zona de fons allunyada de les principals fonts d'emissió. En aquest estudi el valor superior observat ha estat de 29,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i el més baix de 5,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, amb una mitjana general per tots els punts de 16,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En general, els valors més elevats es van concentrar en els carrers amb una intensitat de trànsit elevada, mentre que les concentracions més baixes es van registrar en zones allunyades del trànsit rodat i amb una millor ventilació.

Tant la concentració mitjana com els valors màxim i mínim observats en el present estudi són inferiors als enregistrats durant el mostreig realitzat al febrer-març de 2024. Aquest resultat és esperable tenint en compte la variabilitat intra anual comentada a l'apartat 2.3 (Resultats generals i contextualització de les dades), que indica que els períodes de desembre a febrer-març presenten nivells elevats d' NO_2 , principalment degut a la menor dispersió dels contaminants a l'atmosfera. En aquest sentit, els resultats obtinguts són consistents amb les campanyes anteriors i s'ajusten a la tendència esperada de concentracions d' NO_2 segons l'època de l'any.

3.3 Resultats relatius a la pregunta de recerca 1

La pregunta de recerca que es pretén respondre en aquest apartat és:

Hi ha diferència de concentració d'NO₂ entre escoles properes a zones verdes i escoles no properes?

Per donar resposta a la primera pregunta de recerca, s'han analitzat els tubs que estaven al costat de centres educatius per fer una comparativa entre aquells que estan ubicats a prop de zones verdes i aquells que no.

Tal com s'observa a la Figura 9, la variabilitat entre les concentracions registrades pels tubs instal·lats a prop d'escoles és notable. La seva concentració no presenta un nivell homogeni de concentració d'NO₂. Això podria significar que les escoles estan exposades a factors diversos que influencien la concentració d'NO₂ amb resultats diferents.

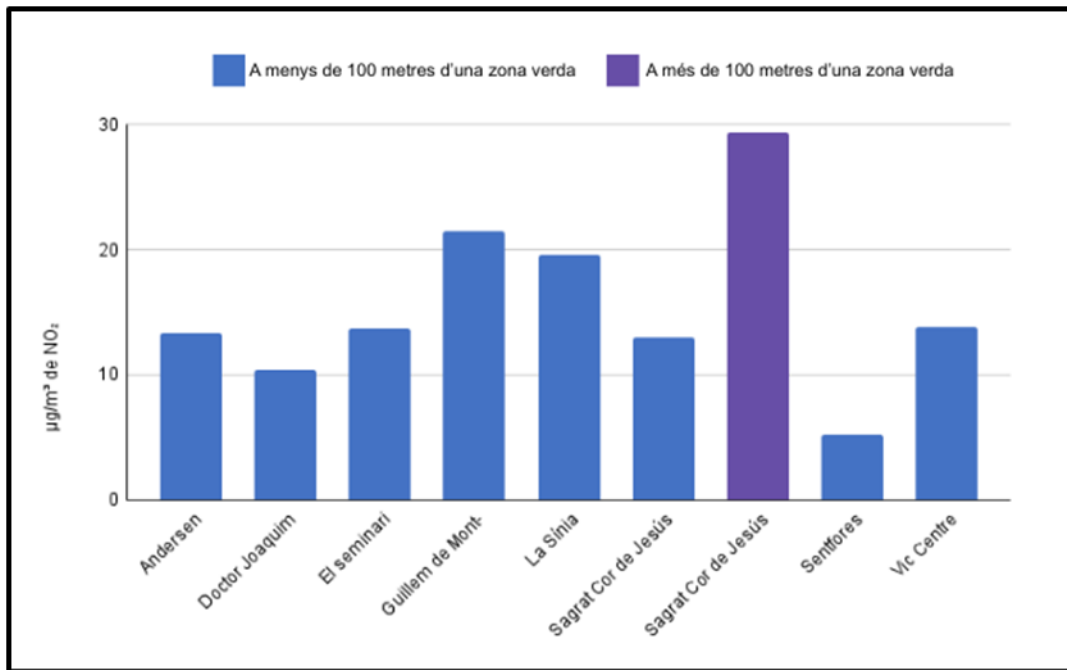


Figura 9: Nivell de concentració de NO₂ per escoles

La finalitat de la pregunta de recerca és comparar les escoles properes a zones verdes amb les escoles allunyades de zones verdes, per tal de descobrir si les zones verdes funcionen com un dispersor de contaminants. Malauradament, amb les dades obtingudes a través dels tubs instal·lats, no es va pot fer la comparació perquè dels 9 tubs instal·lats al costat d'escoles, només un punt es va troba a més de 100 metres d'una zona verda. El punt en qüestió és el que presenta una major concentració d'NO₂. Així i tot, atesa la variabilitat dels punts que fan

referència a escoles i la manca de dades suficients per arribar a conclusions estadístiques, no es va poder respondre de manera significativament correcta a la pregunta d'investigació.

Tanmateix, tenint en compte que el seu coeficient de variació és del 45%, s'interpreta que els nivells d'NO₂ al voltant de cada centre poden dependre de manera directa i significativa de diferents aspectes de la seva ubicació. Per exemple, s'aprecia que les escoles situades a les zones perifèriques –properes a espais oberts i vies secundàries– mostren concentracions més baixes; mentre que aquelles emplaçades en eixos viaris principals, com l'Escola Sagrat Cor, o en vies interurbanes, com l'Escola Guillem de Mont-rodon, registren valors sensiblement més elevats. Per altra banda, la comparació del cas de l'Escola Sagrat Cor resulta especialment significatiu en disposar de dos edificis situats en punts separats. Mentre que l'edifici del Passeig de la Generalitat presenta concentracions per sobre de la mitjana, el del carrer Andreu Febrer registra valors inferiors. Aquesta diferència posa de manifest que la concentració d'NO₂ pot variar substancialment entre dos punts separats per tan sols 100 o 125 metres, en funció de factors com l'orientació del carrer, la seva amplada, l'alçada dels edificis i la intensitat del trànsit rodat.

Ara bé, per a identificar tendències amb relació a les zones verdes i poder aproximar-nos a una hipòtesi més o menys probable sobre la influència de les zones verdes a les escoles, es va pot fer un estudi comparatiu de tots els punts instal·lats per aquesta pregunta de recerca i contrastar aquells que estan propers a una zona verda, d'aquells que estan lluny.

El criteri establert per definir la categoria “a prop” ha estat una distància màxima de 100 metres, ja que, a partir d'aquesta distància, es va considerar que l'efecte del parc o de la zona verda sobre la dispersió del contaminant esdevé negligible o bé que altres factors poden influir-hi amb més intensitat. De la mateixa manera, s'ha definit com a zona verda qualsevol espai catalogat com a tal pel planejament municipal, sempre que contingui arbrat. En conseqüència, s'han exclòs de la categoria les places sense vegetació i els prats oberts, els quals s'han classificat en una categoria diferenciada.

A la Figura 10 s'han representat els 27 punts de mostreig utilitzant un codi de colors que expressa el nivell de concentració d'NO₂. El verd indica les concentracions més baixes, seguit del blau, el groc i el taronja, mentre que el vermell correspon als valors més elevats.

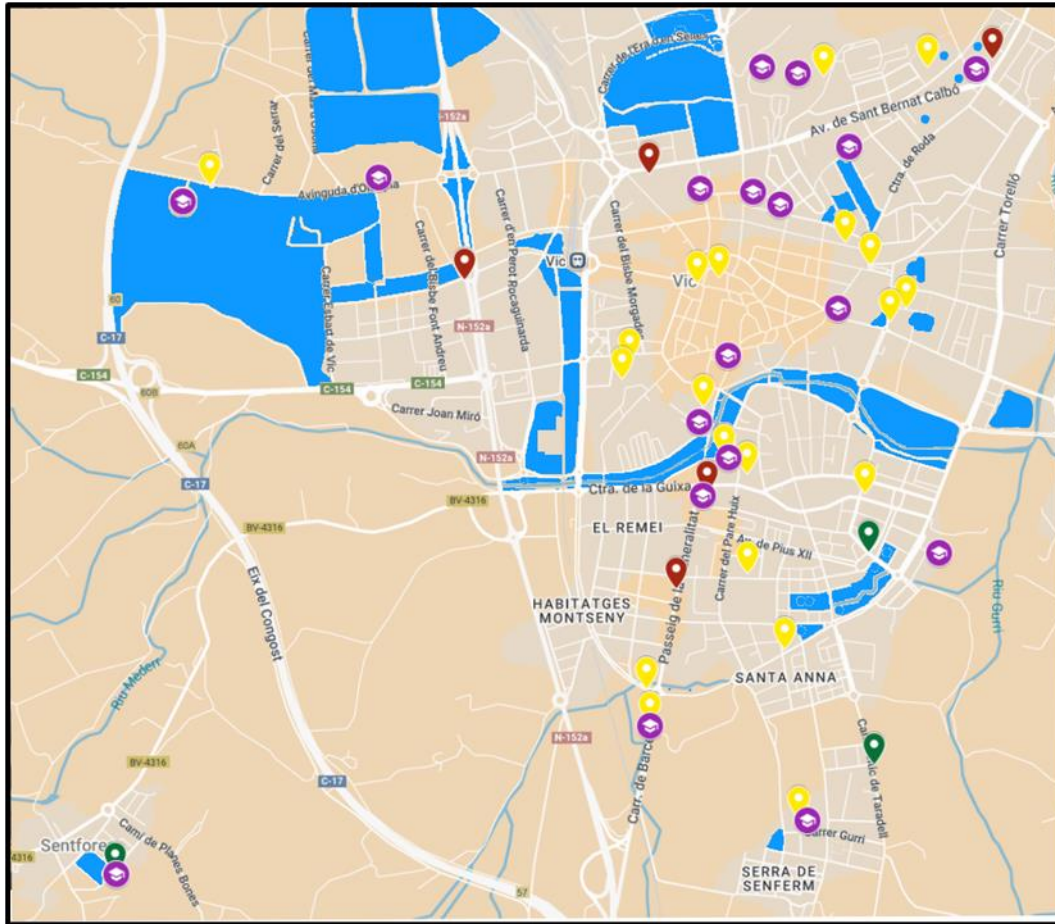


Figura 10: Mapa de Vic que mostra la distribució dels tubs en relació amb la ubicació de les zones verdes i la seva concentració d'NO₂.

Per poder analitzar els resultats, s'han elaborat dos gràfics. La Figura 11 mostra la mitjana de les concentracions d'NO₂ registrades en cadascun dels grups de punts. Tal com s'hi observa, els tubs instal·lats a prop de zones verdes presenten una mitjana de 13,4 µg/m³, inferior a la registrada pels tubs ubicats en zones més tancades o allunyades d'espais verds, que assoleixen una mitjana de 23,1 µg/m³. Aquest resultat inicial suggereix que la presència d'espais verds expulsa altres usos del sòl que poden aportar contaminació i alhora pot afavorir la dispersió de l'NO₂.

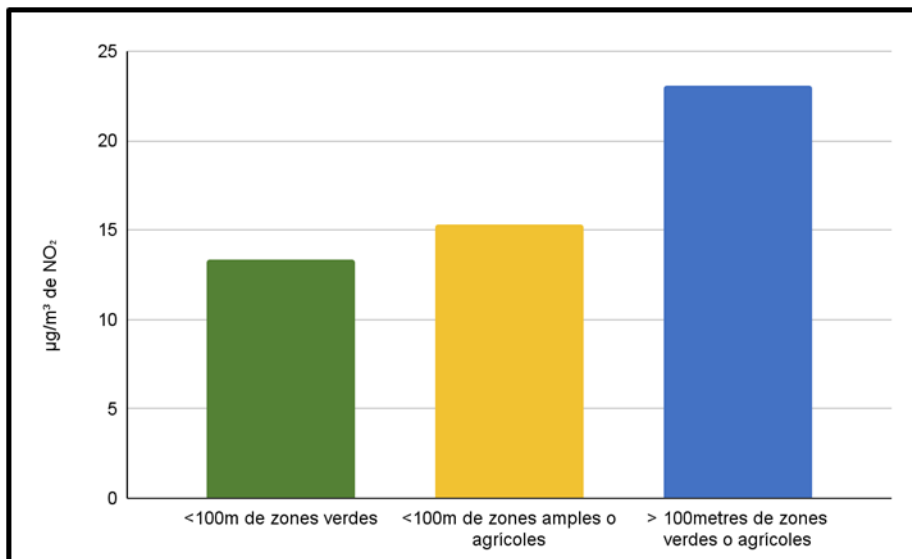


Figura 11: Mitjanes de la concentració d'NO₂ dels tubs

Tanmateix, si s'observa la Figura 12, s'aprecia com altres factors hi poden intervenir. El gràfic ordena els punts de mostreig de menor a major concentració i els classifica cromàticament segons la seva ubicació: a prop de zones verdes, a prop de places o prats, o bé a més de 100 metres de qualsevol zona verda. Malgrat que es va detectar una tendència general, segons la qual les zones properes a espais verds presenten concentracions més baixes de NO₂ -mentre que les àrees més allunyades mostren valors més elevats-, la distribució observada és moderadament heterogènia. De fet, el coeficient de variació més elevat correspon als punts situats en zones verdes (35,3%), mentre que els localitzats a més de 100 metres presenten un valor del 21%. Aquesta diferència indica que, tot i que els espais verds contribueixen a reduir la concentració d'NO₂, hi intervenen altres factors que poden limitar aquest efecte, com la intensitat del trànsit, la morfologia urbana i les dimensions de la zona verda.

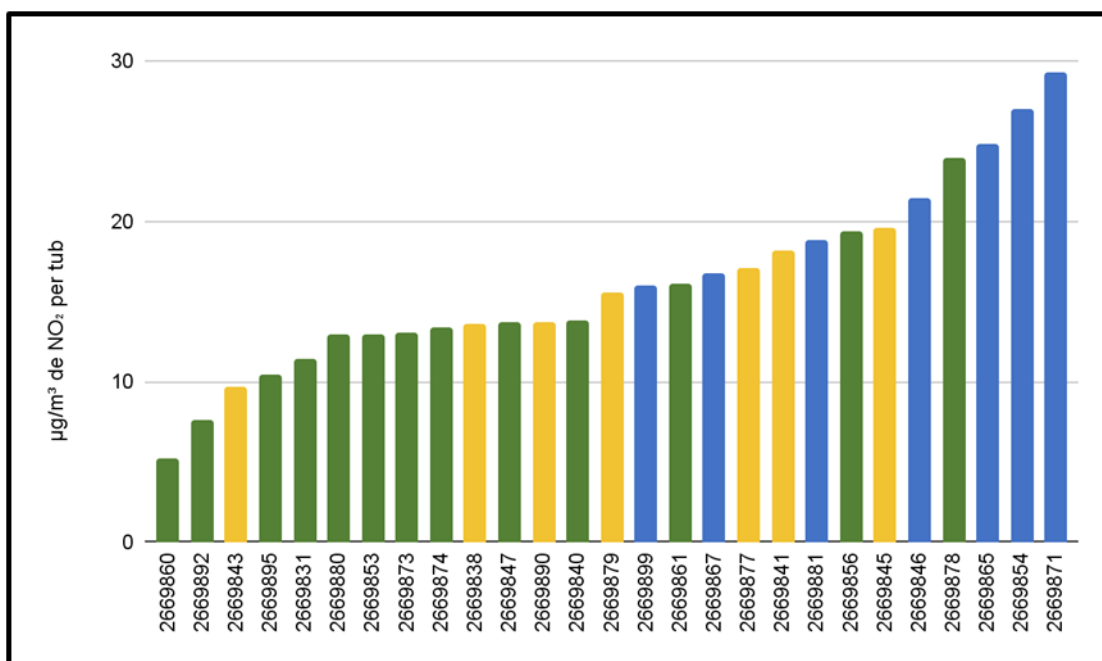


Figura 12: Concentració de NO₂ per tub

Una anàlisi més detallada comparant els punts extrems del mateix grup ajuda a entendre quins altres elements intervenen en la concentració i la dispersió del NO₂. S'observa, per exemple, que el tub ID 2669860, el qual registra la concentració més baixa dins del grup de zones verdes, està situat en una urbanització residencial allunyada del centre, envoltada de camps de conreu i amb la presència d'una escola. En canvi, el tub ID 2669878, que presenta la concentració més alta -també dins d'una zona verda-, es va troba a la cruïlla entre el carrer de la Laura i l'eix Onze de Setembre, una via urbana principal amb un flux de trànsit molt elevat durant tot el dia.

De manera similar, el tub ID 2669899, localitzat a més de 100 metres d'una zona verda i amb una de les concentracions més baixes, es va troba en un carrer moderadament transitat de la xarxa veïnal, d'un sol carril, amb cotxes estacionats a una banda i edificis de dues plantes a ambdós costats. En canvi, el tub ID 2669871, amb la concentració més alta dins d'aquesta categoria, està situat al passeig de la Generalitat, una de les principals vies d'accés al centre del municipi des del vessant sud.

S'observa, per tant, que tot i que les zones verdes exerceixen un efecte positiu en la dispersió de l'NO₂, altres factors, com podria ser la intensitat del trànsit motoritzat, podrien constituir factors determinants que neutralitzin parcialment aquest benefici. En conseqüència, la presència d'espais verds per si sola no és suficient per compensar l'impacte de la circulació urbana sobre la qualitat de l'aire.

En conclusió, la diferència mitjana de concentració d'NO₂ entre les localitzacions properes a zones verdes i aquelles que no ho són és de 9,7 µg/m³, una magnitud prou rellevant per afirmar que els espais verds contribueixen de manera apreciable a la dispersió d'aquest contaminant, reduint-ne la concentració a l'aire. Tanmateix, la presència d'espais verds no garanteix per si

sola valors baixos de concentració, ja que altres factors d'origen antropogènic, com la intensitat del trànsit o la configuració morfològica de l'entorn urbà, també exerceixen una influència determinant sobre la distribució del contaminant.

En relació amb els centres escolars, tot i la seva heterogeneïtat, la mitjana general de les concentracions registrades pels tubs ubicats en l'entorn escolar ($15,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) és lleugerament inferior a la mitjana global del conjunt de punts de mostreig ($17,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En conseqüència, es va pot considerar que la concentració d' NO_2 a les proximitats dels centres educatius és, en termes generals, inferior a la resta d'àrees analitzades. Aquesta diferència pot atribuir-se a la seva freqüent proximitat a zones verdes o obertes –així com al fet que molts centres disposen d'espais d'esbarjo amplis que afavoreixen la dispersió dels contaminants–, ja que tots els centres educatius on s'ha instal·lat un tub de difusió passiu –amb l'excepció de l'edifici del Sagrat Cor ubicat a l'Avinguda de la Generalitat– estan situats a menys de 100 m d'una zona verda.

3.4 Resultats relatius a la pregunta de recerca 2

A continuació es presenta l'anàlisi de resultats dels tubs instal·lats per respondre a la segona pregunta de recerca: Quina diferència es va donar en la concentració de diòxid de nitrogen entre diferents tipus de vies: principals, secundàries i veïnals?

Si observem, la mitjana de les dades obtingudes, tenim que la mitjana es va trobar en $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ amb una desviació típica de 5,39, el que comporta un coeficient de variació del 30,8%. Això significa que la variabilitat entre les dades obtingudes és prou dispersa. La Figura 13 mostra la distribució dels punts instal·lats en relació amb el tipus de via i la concentració d' NO_2 .

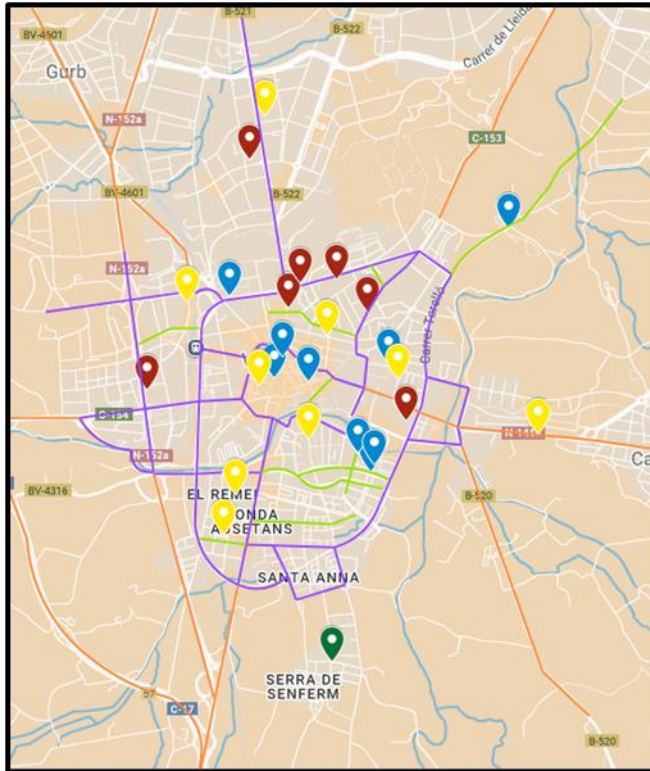


Figura 13: Mapa que representa els punts instal·lats en relació amb el tipus de via i amb un codi cromàtic sobre la concentració d'NO2

Per respondre a la pregunta sobre quines diferències s'han trobat segons la tipologia de les vies: principals, secundàries i veïnals, s'han dividit les mostres en funció del tipus de via que representen i la intensitat de trànsit:

Vies urbanes principals: enteses com aquelles vies ubicades a l'interior del municipi, especialment el nucli urbà, que presenten alts nivells de trànsit rodat. Principalment, constitueixen les rondes de Vic i la connexió entre el centre i la perifèria. Acostumen a ser més amples per poder donar cabuda a un volum major de vehicles, amb un mínim d'un carril per direcció i espai per l'aparcament.

Vies secundàries: aquelles que operen com distribuïdors, connectant les vies principals amb la xarxa veïnal i presentant un nivell de trànsit intermedi.

Xarxa veïnal: composta per la major part dels carrers de Vic. Són tots aquells carrers que formen part del casc urbà que no funcionen com artèries principals. La seva morfologia és variada.

Tipus de via	Nombre de tubs	Ubicació
Tubs instal·lats en vies principals	8 tubs	Avinguda dels Països Catalans, 137 Carretera de Roda, 17 Carrer de Miramarges, 4 Avinguda Bernat Calbó, 59 Ronda de Francesc Camprodon, 102 Carretera de Sant Hipolit de Voltrega, 14 Carrer Eix Onze de Setembre, 20 Carrer de Manlleu, 32
Tubs instal·lats en vies secundàries	1 tub	Avinguda del Bruguer
Tubs instal·lats en vies veïnals	15 tubs	Carrer de la Indústria, 15 Carrer de Sant Miquel dels Sants Carrer de Manuel Carrasco i Formiguera, 4 Carrer Nou, 83 Plaça Major, 31 Carrer Gurri (anella verda) Carrer Sabadell 11, Carrer Bisbe Strauch (amb Virrei Avilés) Carrer Canigó Passatge Torre de les Pinyes, 6 Carrer Sant Francesc, 24 Carrer de la Riera, 24 Carrer del Pare Xifré, 2 Carrer de l'Alguer (cantonada Menendez i Pelayo) Carrer d'En Bac de Roda, 31
Tubs instal·lats en vies interurbanes	1 tub	Carretera de Sant Hilari

Taula 1: Taula amb el nombre i la ubicació dels tubs instal·lats per tipus de via

Tenint en compte la distribució de tubs, s'ha decidit desestimar l'anàlisi de les vies secundàries, atès que només es va disposa d'un tub que faci referència a aquest tipus de via. Per tant, l'estudi s'ha centrat en la comparació entre la xarxa principal i la xarxa veïnal.

Prenent com a referència les mitjanes dels grups analitzats (Figura 14), s'observa que les vies urbanes principals presenten una concentració mitjana de 23 µg/m³; mentre que la xarxa veïnal, de 14,8 µg/m³. En conseqüència, la xarxa de vies principals és la que registra els nivells més elevats d'NO₂, amb una mitjana de 6,2 µg/m³ superior a la mitjana general del conjunt de punts analitzats. Això indica que una part significativa de les concentracions altes d'NO₂ es va localitzen en aquestes vies d'alta intensitat de trànsit.

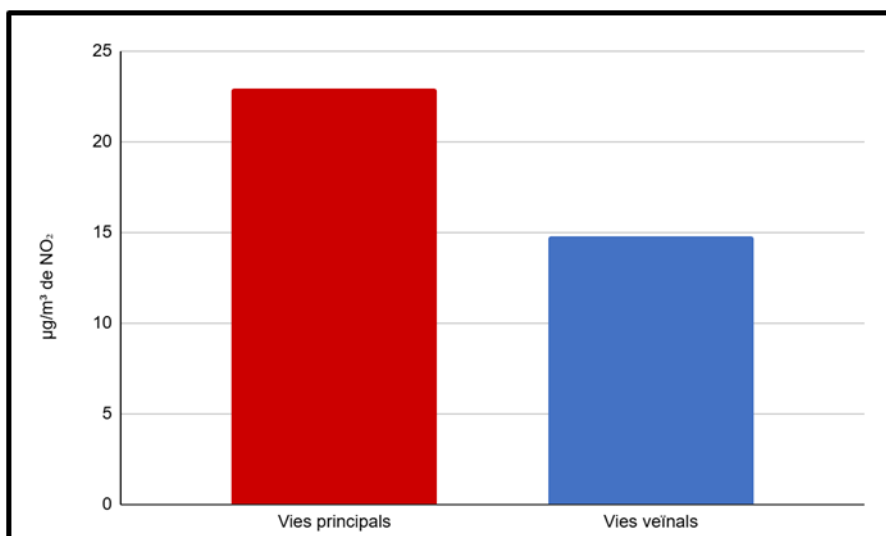


Figura 14: Gràfic que mostra la mitjana de concentració de NO₂ per cada tipus de via

No obstant això, els coeficients de variació mostren valors destacables tant en les vies principals (21,41%) com en la xarxa veïnal (22,68%). Aquest grau de variabilitat suggereix la influència d'altres factors en la dispersió del contaminant, com la presència d'espais verds o la morfologia urbana de cada zona.

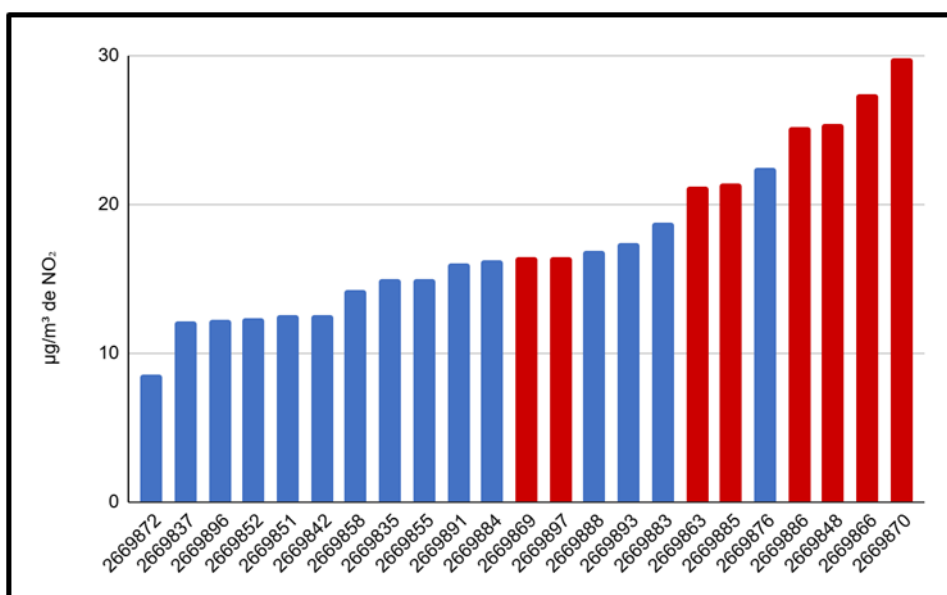


Figura 15: Gràfic de la concentració de NO₂ per tub segons el tipus de via

Un dels motius que podria explicar la variabilitat en les concentracions d'NO₂ de les vies de la xarxa veïnal és la irregularitat que presenta la seva morfologia. Entre els carrers que formen la xarxa veïnal, es va troben des de carrers amples en espais oberts a carrers estrets en el nucli

antic; de carrers pensats per la mobilitat amb transport motoritzat a carrers pensats perquè els vianants tinguin preferència; de carrers en espais oberts a carrers amb edificis de fins a quatre plantes.

En conseqüència, per dur una anàlisi més detallada de la xarxa veïnal s'han distribuït els tubs entre els diferents tipus de via de la següent manera:

Carrers estrets del nucli antic: són carrers empedrats ubicats principalment al nucli antic i consisteixen en vies estretes (2-3 metres).

Carrers amb poca circulació motora: són carrers més amples que els anteriors que es va troben fora del nucli antic però dins del nucli urbà central. Són carrers d'uns sis metres d'amplada, amb edificis de 3 plantes, amb poc trànsit motor i pensats per transitar-los a peu.

Carrers amples amb un sol sentit de circulació: aquestes vies són lleugerament més amples que les anteriors (6-8 metres), però presenten un major nivell de trànsit. També estan flanquejades per edificis de 3 plantes i els carrers presenten espai d'aparcament a ambdues parts de la via.

Carrers amples amb dos sentits de circulació: són les vies de la xarxa veïnal més amples. Ubicades als extrems del nucli urbà o en urbanitzacions allunyades.

Tipus de carrer	Ubicació
Carrers estrets del nucli antic	Carrer de Sant Miquel dels Sants
	Carrer de la Riera, 22
	Carrer del Pare Xifré, 2
Carrers pensats per a vianants i amb poca circulació motora	Carrer Nou, 83
	Plaça Major, 31
	Passatge Torre de les Pinyes, 6
	Carrer Sant Francesc, 24
Carrers amples amb un sol sentit de circulació	Carrer de la Indústria, 15
	Carrer d'En Bac de Roda, 31

	Carrer Bisbe Strauch (amb Virrei Avilés)
	Carrer Canigó, 25
Carrers amples amb dos sentits de circulació	Carrer de l'Alguer (amb Menendez i Pelayo)
	Carrer de Manuel Carrasco I Formiguera, 4
	Carrer Gurri
	Carrer Sabadell 11,

Taula 2: Distribució dels tubs en funció de la morfologia de la via veïnal

En analitzar amb més detall la xarxa veïnal, i classificar els punts de mostreig segons la morfologia de la via, s'observen les següents tendències. D'acord amb les mitjanes de concentració, les diferències entre els quatre tipus de carrer són reduïdes: 14,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en els carrers estrets del nucli antic, 15,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en els carrers pensats per a vianants amb poca circulació motora, 15,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en els carrers d'una sola direcció i 14,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en els carrers amples amb dos sentits de circulació. D'acord amb aquests valors, els carrers més amples, amb trànsit moderat i millor ventilació, tendeixen a registrar les concentracions més baixes, mentre que els carrers d'un únic carril mostren nivells lleugerament superiors.

Tot i això, com mostra la Figura 17, les diferències morfològiques dels carrers no marquen cap tendència; els coeficients de variació són elevats en gairebé tots els casos, amb l'excepció dels carrers de vianants, que presenten un valor del 7,5%. Aquest fet indica l'absència d'una correlació directa i consistent entre la tipologia de via i la concentració d' NO_2 . El cas més extrem és el dels carrers amples amb doble sentit de circulació, que presenten una variació del 42,48%, amb valors que oscil·len entre 8,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 22,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aquesta dispersió pot atribuir-se a la naturalesa de les activitats antròpiques i a la localització geogràfica concreta de cada punt de mostreig.

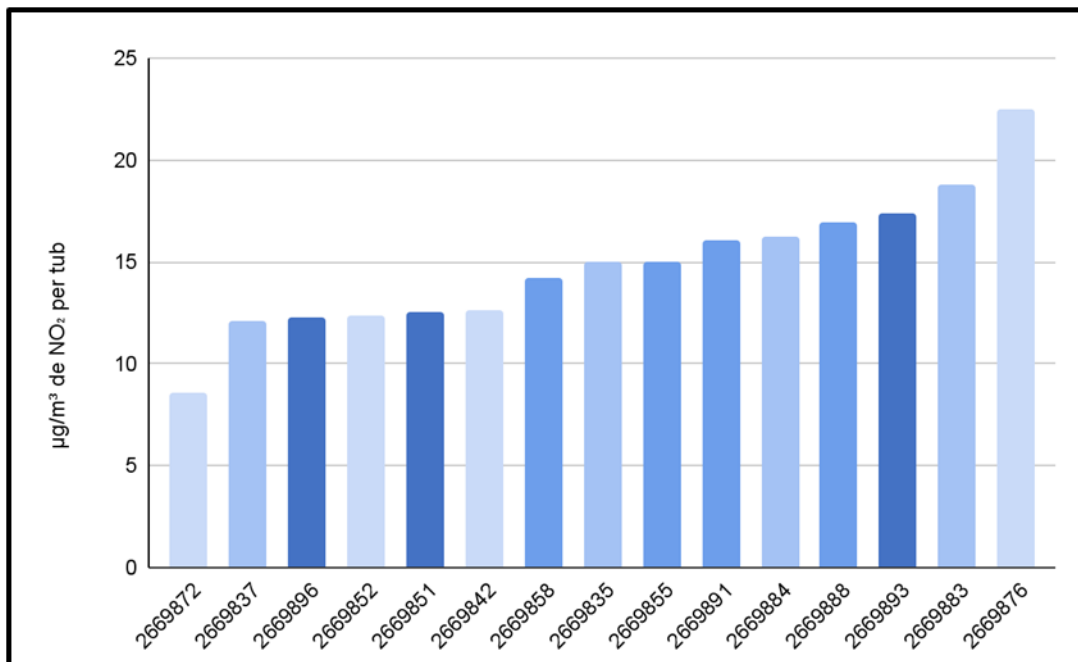


Figura 16: Distribució dels tubs en funció de la morfologia de la via veïnal

Per exemple, el tub ID 2669872, que presenta la concentració més baixa dins d'aquest grup, es va trobar a la urbanització Serra de Sant Ferm, en una zona residencial allunyada del centre urbà, envoltada de camps i propera a zones verdes. En canvi, el tub ID 2669876, amb la concentració més alta, està situat al Parc d'Activitats Econòmiques d'Osona Nord, una àrea industrial on es desenvolupen activitats de fabricació, transformació de materials, comerç, distribució i serveis logístics.

També resulta il·lustrativa la comparació entre els tubs ID 2669851 i ID 2669893, ubicats en carrers de morfologia i intensitat de trànsit similars. Malgrat això, el segon presenta una concentració superior, probablement perquè connecta directament amb la Plaça Major, fet que podria implicar un increment del flux de vehicles. Així mateix, s'observa que determinats carrers amb escàs trànsit rodat registren concentracions d' NO_2 més elevades que altres amb una circulació més intensa. Aquest comportament s'explica per la configuració urbana: en carrers estrets, la manca de ventilació afavoreix l'acumulació del contaminant, mentre que en carrers més amples la circulació d'aire facilita la seva dispersió, reduint la concentració tot i un volum absolut d'emissions més gran.

En síntesi, s'evidencia una diferència clara entre la xarxa de vies urbanes principals i la xarxa veïnal, essent la primera la que concentra els nivells més alts d' NO_2 , en correspondència amb les emissions derivades del trànsit de vehicles de combustió. En canvi, dins de la xarxa veïnal, les diferències entre tipologies de via són menys pronunciades, la qual cosa posa de manifest que la concentració d' NO_2 depèn d'un conjunt de factors interrelacionats, que inclouen no només el volum de trànsit, sinó també la morfologia urbana i la naturalesa de les activitats antròpiques desenvolupades en cada entorn.

4. Implicacions per a la salut pública i recomanacions per la gestió municipal

4.1 Implicacions per la salut

L'anàlisi realitzada a la ciutat de Vic mostra que la mitjana d'NO₂ del període estudiat ja se situa per sobre de les recomanacions de l'OMS, fet que implica que la població està exposada a nivells perjudicials d'aquest contaminant. Tal com s'ha comentat, si es considerés la contaminació al llarg de tot l'any, els valors mitjans serien encara més elevats, ja que el mostreig s'ha dut a terme en una època de baixa concentració d'NO₂. Tenint això en compte, la distància respecte als nivells recomanats per l'OMS seria encara més gran.

Els resultats observats a la ciutat de Vic exemplifiquen com una problemàtica local de contaminació atmosfèrica constitueix, al mateix temps, un reflex d'una crisi global de salut ambiental, mostrant com els efectes de la contaminació transcendeixen les fronteres i afecten la població a escala mundial. La contaminació atmosfèrica és el 4rt risc de mortalitat prematura a nivell mundial - només superat per l'hipertensió arterial, els riscos derivats de la dieta i el consum de tabac - i és el major risc ambiental per a la salut humana, essent la principal causa ambiental de mortalitat i morbiditat a nivell mundial, arribant a causar 6.6 milions de morts prematures a tot el món l'any 2019. A Europa, l'any 2022, es van atribuir 48000 morts prematures relacionades amb l'exposició al diòxid de nitrogen (NO₂).

L'OMS subratlla que, tot i establir un límit recomanat de 10 µg/m³ d'NO₂ en mitjana anual, no existeix un nivell d'exposició completament segur a la contaminació atmosfèrica, ja que fins i tot concentracions molt baixes poden resultar perjudicials per a la salut humana. Per aquest motiu, és essencial reduir els nivells de contaminació tant com sigui possible. De fet, l'exposició a la contaminació atmosfèrica en general, i a l'NO₂ en particular, està associada a un alt nombre de problemes de salut. Aquest gas irrita les vies respiratòries, afavorint l'aparició d'asma i bronquitis crònica, pot provocar inflamació sistèmica i afecta també l'aparell circulatori, ja que les molècules inhalades poden arribar al torrent sanguini². A més d'aquestes patologies, diversos estudis han relacionat la contaminació amb malalties cardiovasculars, ictus, càncer de pulmó o diabetis tipus 2³. Concretament per a l'NO₂, s'ha de considerar que, mentre l'exposició a llarg termini a baixes concentracions provoca problemes gastrointestinals i una

¹ State of global air (2019). Global ranking of risk factors total deaths for all causes. Health Effects Institute. <https://www.stateofglobalair.org/health>

² Organització Mundial de la Salut. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. *World Health Organization*. ISBN: 9789240034228

³ Huangfu, P., & Atkinson, R. (2020). Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment international*, 144, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>

major gravetat en pacients asmàtics, l'exposició a curt termini també comporta conseqüències, entre les quals destaquen la tos lleu, el mal de cap i la irritació a la laringe i ocular^{4 5 6}.

Cal remarcar, però, que la susceptibilitat als efectes de l'NO₂ no és homogènia i pot variar en funció de factors genètics i fisiològics. En general, els col·lectius més vulnerables són les dones embarassades (on l'exposició s'ha relacionat amb el naixement prematur i el baix pes en néixer), els nadons, la infància (col·lectiu on s'accentua l'aparició d'asma), la gent gran i les persones amb patologies cardíaques o respiratòries prèvies^{7 8}.

A nivell d'efectes en salut en general, la població infantil és especialment vulnerable a la contaminació atmosfèrica pel fet que respira amb més freqüència, passa més temps a l'aire lliure i els seus sistemes respiratori i immunitari estan en desenvolupament. Així, en els infants, la contaminació pot provocar alteracions en la capacitat de concentració i malestar general. Un estudi realitzat a Barcelona va demostrar que en escoles situades en zones amb menor contaminació atmosfèrica la memòria de treball dels alumnes va augmentar un 11,5%, mentre que en centres ubicats en zones més contaminades l'increment va ser només del 7,4%⁹. Aquestes troballes són coherents amb el fet que la contaminació atmosfèrica contribueix a un pitjor rendiment laboral i econòmic¹⁰. A més, la contaminació es concentra principalment a les ciutats i als seus voltants per l'alta densitat de vehicles que hi circulen i per la dificultat sovint de tenir una bona dispersió de la contaminació, i això, juntament amb el fet que a les ciutats hi viu molta gent, els efectes sobre la salut a nivell poblacional són importants. A Barcelona, l'exposició a llarg termini als nivells de PM_{2,5} i NO₂ dels últims anys (2020-2023) són responsables del voltant de 1.300 morts, 800 casos nous d'asma infantil i 120 casos nous de càncer de pulmó cada any a la ciutat¹¹.

Segons una revisió científica de l'Aliança per la Salut i el Medi Ambient (HEAL) sobre els efectes de l'NO₂ en la salut, es va estimar el percentatge d'episodis de salut atribuïbles a nivells de contaminació que superen la guia de l'OMS a Polònia. Tenint en compte l'exposició mitjana a NO₂ al país (13,1 µg/m³ segons l'Agència Europea de Medi Ambient el 2022), es calcula que

⁴ European Environment Agency. (2023). Health impacts of air pollution in Europe 2023. *European Environment Agency*.

⁵ Belanger, K., Holford, T. R., Gent, J. F., Hill, M. E., Kezik, J. M., & Leaderer, B. P. (2013). Household levels of nitrogen dioxide and pediatric asthma severity. *Epidemiology*, 24(2), 320–330. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318280e2ac>

⁶ Mainka, A., & Žak, M. (2022). Synergistic or antagonistic health effects of long- and short-term exposure to ambient NO₂ and PM_{2.5}: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14079. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114079>

⁷ Simoncic V, Enaux C, Deguen S, Kihal-Talantikite W. Adverse Birth Outcomes Related to NO₂ and PM Exposure: European Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Nov 3;17(21):8116. doi: 10.3390/ijerph17218116. PMID: 33153181; PMCID: PMC7662294.

⁸ Organització Mundial de la Salut. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. *World Health Organization*. ISBN: 9789240034228

⁹ Sunyer, J., Suades-González, E., García-Esteban, R., Rivas, I., Pujol, J., Alvarez-Pedrerol, M., Forns, J., Querol, X., i Basagaña, X. (2017). Traffic-related Air Pollution and Attention in Primary School Children: Short-term Association. *Epidemiology*, 28(2), 181–189. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000603>

¹⁰ Krzyzanowski, M. (2024). The health impacts of nitrogen dioxide pollution: Review of the science (Report commissioned by the Health and Environment Alliance (HEAL)). Health and Environment Alliance.

¹¹ Agència de Salut Pública de Barcelona (2023). Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona. https://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2024/08/Informe_qualitat-aire-2023_240802.pdf

l'exposició superior al límit de l'OMS és responsable del 2,9 % dels casos d'asma infantil i del 2,6 % de les infeccions agudes de les vies respiratòries en nens. En adults, aquests nivells es relacionen amb el 4,8 % dels casos d'asma, el 3,2 % de malalties pulmonars obstructives cròniques i el 1,8 % de l'activació de la diabetis en la població adulta.¹²).

Ara bé, tenint en compte que l'anàlisi efectuada a Vic indica que la variabilitat entre els tubs de mesura és notable i que les dades obtingudes representen punts específics i no àrees extenses, l'exposició al contaminant pot variar considerablement segons els hàbits de les persones i els espais de la ciutat que freqüenten, així com les hores del dia en què ho fan. Per tant, ja sigui per la variabilitat dels factors endògens de cada individu com per la variabilitat dels espais geogràfics que habitin de forma freqüent, no tota la població de Vic està exposada de la mateixa manera als efectes nocius de l'NO₂. En conseqüència, els hàbits de les persones poden alterar la seva exposició a concentracions d'NO₂, més enllà de la vulnerabilitat que presentin les seves característiques biològiques. En altres paraules, en funció dels espais de la ciutat que més habitin i les hores del dia en què els habitin, les persones poden estar més o menys exposades a l'NO₂.

Evidentment, tot aquest impacte sobre la salut ve acompanyat d'un seguit de costos tant en l'àmbit sanitari com social. Respecte del primer, l'hospitalització i la medicalització són serveis que suposen un cost econòmic per a les persones, sigui des de les administracions públiques o des del sector privat. Amb relació al cost social, la contaminació atmosfèrica suposa una disminució de la qualitat de vida i un augment de la mortalitat.

Cal destacar que la presència de verd a les ciutats també té un efecte beneficiós en la salut humana. Tal i com s'ha comentat al llarg d'aquest informe, els espais verds es relacionen amb una millor qualitat de l'aire pel que fa a l'NO₂, però alhora tenen beneficis per la salut per se. A nivell de salut mental, els entorns naturals ofereixen als infants i adolescents oportunitats per a impulsar la creativitat, promoure les interaccions socials, augmentar l'activitat física, promoure la recuperació psicològica, potenciar l'autoconeixement o sentit de si mateixos, i mitigar l'exposició a factors ambientals nocius com la contaminació de l'aire i el soroll, cosa que alhora podria beneficiar el seu desenvolupament cerebral i la seva salut mental. La majoria dels estudis suggereixen un impacte beneficiós dels entorns naturals en els infants i adolescents. S'han descrit, per exemple, millores significatives en la simptomatologia i en la capacitat d'atenció en persones amb trastorn per dèficit d'atenció i hiperactivitat (TDAH) associades a l'experiència en espais verds a l'aire lliure (jocs, caminades, etc.), especialment en poblacions residents en les zones urbanes més desfavorides.

El fet de viure en entorns més verds durant la infància també s'ha associat a una competència social més elevada, més maduresa emocional, el desenvolupament del llenguatge i habilitats de comunicació, així com a una durada i qualitat del son millors. Fins i tot, encara que de manera inconsistent, hi ha estudis que associen l'exposició a entorns naturals a més intel·ligència, determinada per proves de coeficient intel·lectual. Un altre estudi realitzat també a Barcelona conclou que la proximitat residencial a espais de joc a l'aire lliure i la seva verdor i

¹² The health impacts of nitrogen dioxide (NO₂) pollution. Review of the science commissioned by the Health and Environment Alliance (HEAL)", professor Michal Krzyzanowski

diversitat protegeix la salut mental i conductual dels infants i adolescents que viuen en zones de baix nivell socioeconòmic.

Els espais verds aporten també beneficis importants tant a la població adulta com a la gent gran, com ara la reducció de l'estrès, la millora de l'atenció, la promoció de l'activitat física, l'increment de la cohesió social i el reforç del vincle amb el lloc. A més, contribueixen a enfortir el sistema immunitari. A nivell ambiental, també són fonamentals per a la regulació i la provisió de serveis ecosistèmics¹³

4.2 Gestió municipal urbanística sostenible

Partint de la premissa que el medi urbà, el medi natural i l'estil de vida determinen la salut de la ciutadania al mateix nivell que l'herència genètica, la qualitat de l'aire presenta un pes decisiu. Aquesta realitat obliga a evolucionar d'una perspectiva purament patogènica cap a una de salutogènica, on la salut ja no es contempla com un estat vinculat exclusivament a la medicalització, sinó com un sistema integral lligat a l'entorn personal, social i ambiental de cada individu.

Des d'aquest punt de vista, els principals impulsors de la salut a les ciutats sovint venen de fora del sector sanitari. Per tant, és responsabilitat dels ajuntaments i dels òrgans que participen en les planificacions territorials, promoure accions locals per optimitzar la qualitat de l'aire per reduir l'exposició a contaminants com l'NO₂.

A continuació es descriuen un seguit de propostes lligades als resultats de la recerca efectuada que s'han elaborat gràcies a la participació de les persones que van col·laborar en el projecte, concretament les que van assistir a la sessió del 21 d'octubre. En aquesta trobada, es van presentar els resultats de la investigació, es va dur a terme una interpretació col·laborativa i, finalment, es va realitzar una sessió de codisseny on es van pensar solucions, tant urbanístiques com d'hàbits individuals, per posar remei a les concentracions altes d'NO₂.

Les línies d'actuació proposades pels participants es classifiquen en dos grans eixos. En primer lloc, se suggereixen diferents propostes que persegueixen reduir el trànsit motor, tant des de l'àmbit urbà com interurbà. En segon lloc, es presenten propostes relacionades amb la morfologia urbana, relacionada amb la presència de zones verdes i espais oberts per fomentar la dispersió dels contaminants.

Respecte al transport i mobilitat:

- Pacificació de carrers per desplaçar el trànsit.
- Aplicar una Zona de Baixes Emissions efectiva.
- No crear noves places d'aparcament al centre.

¹³ Diputació de Barcelona (2025) Entorn Urbà i Salut - Espais verds i salut. <https://www.diba.cat/documents/d/entorn-urba-i-salut/espais-verds-i-salut-mental>.

- Promoure la mobilitat activa.
- Reduir el transport logístic de proximitat, realitzant l'últim tram en bicicleta.
- Millorar el transport públic urbà i interurbà.
- Impulsar l'ús de vehicle col·lectiu.

Respecte a la morfologia urbana:

- Reverdització de l'espai públic afegint-hi arbres i plantes i creant eixos verds.
- Incrementar el nombre d'espais verds i garantir una gestió adequada.
- En futures construccions, prioritzar edificis més baixos i carrers amples.
- Posar per davant la creació d'espais públics oberts a la privatització i l'especulació del sòl.

5. Conclusions

A nivell participatiu, el projecte ha tingut una bona rebuda per les persones participants, les quals han après al llarg del projecte i han agraït que se'ls doni veu per proposar la seva opinió sobre com resoldre la problemàtica. A més, agraeixen que la Diputació de Barcelona, ISGlobal i l'ajuntament de Vic hagin posat esforços en ressaltar la problemàtica de la qualitat de l'aire i els hagin fet còmplices de la solució per mitjà d'un estudi de ciència ciutadana. No obstant això, també s'ha posat de manifest la necessitat que les accions derivades del projecte tinguin continuïtat i un impacte real, evitant que els resultats quedin limitats a l'àmbit documental.

L'estudi sobre la concentració d'NO₂ executat a través de metodologies de ciència ciutadana entre els mesos de maig i juny de 2025 posa de manifest que, malgrat que la ciutat de Vic es troba per sota dels límits establerts per la normativa europea, està per damunt dels valors recomanats per l'OMS. La mitjana resultant de l'exposició dels tubs de difusió passiva és de 16,8 µg/m³; tanmateix, s'ha de tenir en compte que aquesta dada correspon a un període de temps en què, per qüestions climatològiques, les concentracions d'NO₂ solen ser més baixes. Per tant, no es pot entendre com una dada estàtica i descontextualitzada i s'ha de contextualitzar a nivell anual per a poder fer-ne comparacions amb les mitjanes anuals que recomana l'OMS.

En l'àmbit tècnic, l'estudi ha demostrat que les àrees properes a zones verdes tendeixen a presentar una menor concentració d'NO₂, mentre que aquells punts que es troben vora vies altament transitades registren valors més elevats de concentració d'NO₂. Amb tot, la variabilitat de les mesures efectuades demostra que la concentració d'NO₂ es dona com a resultat de múltiples factors locals, tant antropogènics com ambientals. Entre els primers, destaquen el trànsit de vehicles de motor; entre els segons, les condicions meteorològiques com els corrents d'aire, la irradiació solar o les precipitacions; i, finalment, factors relacionats amb la

morfologia urbana, com la presència de zones verdes, espais oberts o, per contra, carrers estrets i edificis de gran alçada. A conseqüència del nombre de variables que poden influenciar la concentració d'aquest gas, dos punts molt pròxims poden presentar diferències significatives en la concentració d'NO₂ a causa d'elements aparentment menors, com la incidència solar, la presència d'un semàfor o la proximitat a l'entrada o sortida d'un garatge.

Atesa aquesta variabilitat, es proposa, per a estudis futurs, repetir els mostreig en diferents èpoques de l'any, ajustar models de regressió i comparar-los amb factors de referència com els del DEFRA LAQM (UK), tal com recomanen les seves guies. A més a més, amb la ciutadania també s'arriba a la conclusió que pot ser interessant replicar l'estudi prenent com a referència unes variables específiques i concentrar l'anàlisi en espais amb característiques més controlades.

Pel que fa a la salut pública, la problemàtica del diòxid de nitrogen subratlla la necessitat d'una planificació urbanística proactiva i salutogènica que vagi més enllà del simple compliment normatiu i posi la salut al centre de totes les polítiques. Les propostes de millora, codissenyades amb els participants, s'articulen sobretot al voltant de la reducció i la redistribució del trànsit motor -allunyant-lo dels centres de les ciutats- i l'impuls d'una estratègia de reverdització urbana intensiva. Aquesta estratègia hauria de transformar "carrers grisos" en eixos verds i considerar la morfologia urbana (alçada d'edificis, amplada de carrers) en futures planificacions per afavorir la ventilació. Finalment, el projecte ha reafirmat el valor del model de ciència ciutadana extrema, en generar un coneixement contextualitzat i un alt nivell de compromís social amb les solucions proposades.

Finalment, malgrat la correcta implementació del projecte, s'han identificat diversos aspectes de millora del protocol que caldria considerar en futures edicions, tant a Vic com en altres municipis de la demarcació. En primer lloc, es recomana incorporar accions de seguiment i acompanyament de les persones participants al llarg de tot el procés, des del moment en què se'ls distribueixen els tubs fins a l'anàlisi final de les dades, per reforçar la continuïtat i la qualitat del seguiment. En segon lloc, es posa de manifest la necessitat de formular preguntes de recerca dimensionades i factibles, adequades a les capacitats i recursos disponibles dins del projecte. Finalment, es considera convenient que tant la definició d'aquestes preguntes com la selecció dels punts d'instal·lació es guiïn per criteris i variables prèviament establerts per l'equip facilitador, amb l'objectiu de garantir una major coherència metodològica, objectivitat i consens en el desenvolupament del procés.

6. Bibliografia

Belanger, K., Holford, T. R., Gent, J. F., Hill, M. E., Kezik, J. M., & Leaderer, B. P. (2013). Household levels of nitrogen dioxide and pediatric asthma severity. *Epidemiology*, 24(2), 320-330. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318280e2ac>

Mainka, A., & Žak, M. (2022). Synergistic or antagonistic health effects of long- and short-term exposure to ambient NO₂ and PM_{2.5}: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14079. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114079>

Denby, B.R., Sundvor, I., (2008) Air quality mapping of NO₂ with the use of passive samplers. (NILU OR, 65/2008). NILU. Recuperat de <https://nilu.com/wp-content/uploads/dnn/65-2008-bde-is.pdf>

Diputació de Barcelona (2025) Estudi del diòxid de nitrogen. Ajuntament de Vic. Diputació de Barcelona.

European Environment Agency. (2023). Health impacts of air pollution in Europe 2023. European Environment Agency.

Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts Jr., J. N. (2000). Chemistry of the troposphere. In *Chemistry of the upper and lower atmosphere*. Academic Press.

Huangfu, P., & Atkinson, R. (2020). Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment international*, 144, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>

Generalitat de Catalunya, Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural. (2024). Pla de qualitat de l'aire, horitzó 2027. https://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/pla-qualitat-aire-horitzo-2027/

Krzyzanowski, M. (2024). The health impacts of nitrogen dioxide pollution: Review of the science (Report commissioned by the Health and Environment Alliance (HEAL)). Health and Environment Alliance.

Organització Mundial de la Salut. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. ISBN: 9789240034228

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. (3a ed.). Wiley.

Sunyer, J., Suades-González, E., García-Esteban, R., Rivas, I., Pujol, J., Alvarez-Pedrerol, M., Forns, J., Querol, X., i Basagaña, X. (2017). Traffic-related Air Pollution and Attention in Primary School Children: Short-term Association. *Epidemiology*, 28(2), 181-189.
<https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000603>

The health impacts of nitrogen dioxide (NO₂) pollution. Review of the science commissioned by the Health and Environment Alliance (HEAL)", professor Michal Krzyzanowski

Ubalde-López, M., Honey-Rosés, J., Núñez-Tobajas, Z., García-Malo, T., Abiétar, D. G., Daher, C., Márquez, S., Cirach, M., Ballbé Ortí, A., Calvo Sánchez, R., Miquel Amengual, A., Antenas, G., Aparicio, O., Berrón, A., Colom, M., Cholbi, J., Fernández, G., Flores, G., García, B., ... Valls, I. (2023). Informe final de l'avaluació d'impacte als entorns escolars pacificats a la ciutat de Barcelona pel programa Protegim les Escoles. Període, 2021-2023. ISGlobal, Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona (ICTA-UAB).



**Diputació
Barcelona**

Àrea de Comerç, Consum
i Salut Pública

Servei de Salut Pública

Recinte Mundet

Edifici Migjorn, bloc A, plantes 3a i 4a

Carrer de l'Harmonia, 24

08035 Barcelona

www.diba.cat/salutpublica