



**Fundació CENTRE D'ESTUDIS
AMBIENTALS DEL MEDITERRANI.
(Fundació CEAM).**

**EVOLUCIÓ DELS NIVELLS DE
CONTAMINACIÓ PER NO₂ A L'ENTORN
DE LA CIUTAT DE VALÈNCIA.
MESURES EXPERIMENTALS AMB
CAPTADORS PASSIUS**

SÍNTESI 2017-2021

***Fundació Centre d'Estudis Ambientals
del Mediterrani***

Preparat per : *Programa de Meteorologia i Contaminació Atmosfèrica.*

Data : *05/07/2022*

Referència : *Mostrejos València NO₂/2022/a Versió 0.*



EVOLUCIÓ DELS NIVELLS DE CONTAMINACIÓ PER NO₂ A L'ENTORN DE LA CIUTAT DE VALÈNCIA. MESURES EXPERIMENTALS AMB CAPTADORS PASSIUS.

SÍNTESI 2017-2021.

05 de juliol de 2022

ÍNDEX DE CONTINGUTS.	Pàg.
INTRODUCCIÓ	1
MATERIALS I MÈTODES	3
Disseny experimental	
RESULTATS	6
Entorn atmosfèric	
Trànsit vehicular	
Trànsit portuari	
Xarxa de vigilància	
Mostrejos dosimètrics	
DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS	19



**Els treballs presentats han sigut realitzats per l'Àrea de Meteorologia i Contaminació
Atmosfèrica del Centre d'Estudis Ambientals del Mediterrani.**



EVOLUCIÓ DELS NIVELLS DE CONTAMINACIÓ PER NO₂ A L'ENTORN DE LA CIUTAT DE VALÈNCIA. MESURES EXPERIMENTALS AMB CAPTADORS PASSIUS.

SÍNTESI 2017-2021.

València 05/07/2022 (V0)

INTRODUCCIÓ

Està ben establida la relació entre l'exposició a la contaminació atmosfèrica i l'increment de les malalties associades, amb la consegüent pèrdua d'anys de vida saludable, amb resultat de mort en moltes ocasions, i poden comptabilitzar-se en milions de defuncions anuals a tot el món (contrastat per l'OMS). Aquest tipus de malalties relacionades amb l'exposició a una mala qualitat de l'aire està creixent arreu del món, malgrat una millora general dels nivells ambientals en l'àmbit dels països desenvolupats, la qual cosa també sembla estar relacionada en gran manera amb l'envelliment de la població i canvis en els estils de vida.

Un dels canvis socials més representatius procedeix del fet de la ràpida urbanització que ha experimentat la població mundial des de 1950, i que ja en 2007, per primera vegada en la història, la radicada a les ciutats va superar a escala mundial la població rural, de manera que actualment un major nombre d'individus viuen en àrees urbanes que en àrees rústiques (en 2018, un total de 4.200 milions de persones (55 %) residien en assentaments urbans en comparació amb 3.400 milions que ho feien en un medi rural).

Sota el terme de *contaminació urbana* (enfrent de la de caràcter industrial) s'inclourien situacions d'elevada contaminació en entorns habitats, amb alta densitat de població, les emissions de la qual (caracteritzades per una complexa mescla d'espècies químiques, algunes d'elles tòxiques) tindrien el seu origen principal en processos de combustió, fortament imbricats en els hàbits dels mateixos residents. Això marcaria algunes de les grans característiques d'aquest tipus de problemes: entorns molt complexos, amb una forta variabilitat espacial (alta anisotropia), que donen lloc a l'existència d'elevats gradients atmosfèrics (de tot tipus: vent, temperatura, concentracions, etc.); focus difusos (trànsit, calefaccions, etc.) i amb patrons de comportament variables en el temps (cicles diürns i estacionals molt marcats).

Aquest tipus d'entorns/situacions presenten gran interès en diversos aspectes:

- ✓ són propenses a l'ocurrència d'alts nivells de concentració de contaminants (principalment primaris – especialment òxids de nitrogen i partícules-), a vegades superant els límits normatius;
- ✓ precisament per tractar-se d'àrees densament poblades, representen una de les causes més important de l'exposició de la població a nivells alts de contaminació (importància en els estudis epidemiològics);
- ✓ resulten complicats (i alhora complexos) de diagnosticar a causa de la seua pròpia naturalesa variable (en l'espai i el temps);
- ✓ com a conseqüència, es mostren també complexos de modificar, intervenint, a més dels propis condicionants tècnics, aspectes històrics, sociològics i culturals (assentaments, hàbits, necessitats, etc).

Les xarxes de vigilància habituals proporcionen una primera avaluació de la qualitat de l'aire en aquests entorns que, si bé permet alertar de l'existència d'una situació anòmala de contaminació (p.e. superació dels límits permessos en algun dels punts de mesura), resulten clarament insuficients per al seu adequat diagnòstic i gestió, en tant que recullen només parcialment la rica estructura, la multifactorialitat i la casuística del problema.



Des de la perspectiva de la legislació mediambiental actual (concretada en el RD 102/2011 relatiu a la millora de la qualitat de l'aire), dos reptes principals es plantegen en aquest àmbit:

- desenvolupar la capacitat de **diagnòstic dels problemes de contaminació en un entorn urbà** amb la resolució requerida per a una correcta comprensió, per a això caldria fer la implementació de programes de mesuraments experimentals amb una major cobertura (que l'estricta xarxa automàtica), d'acord amb l'alt grau de llibertat del sistema atmosfèric urbà;
- com a pas següent al diagnòstic (en l'estat en què es trobe) i sota una demanda legal efectiva (i en aquest moment urgent derivada del compliment dels requisits de l'actual normativa), es planteja la necessitat de **desenvolupar plans d'actuació** tendents a reduir els nivells de contaminació per davall dels límits establits; en aquest sentit no sols es requereix caracteritzar l'abast del problema ambiental (diagnòstic) sinó entendre les *relacions causa-efecte* (tant a nivell qualitatiu com quantitatiu) a fi de poder dissenyar actuacions sobre aquelles (causes –emissions–) que desencadenen conseqüències (reductores) sobre aquests (efectes –nivells de concentració–); en aquesta línia hi hauria fins i tot una demanda pròpiament de descripció d'una **metodologia de treball**.

La ciutat de València, a la vora del riu Túria, en la costa que delimita el centre del golf d'igual nom, representa un exemple de gran conurbació, el municipi de la qual s'estén sobre unes tretze mil hectàrees. Amb una població que ha experimentat un fort augment amb l'inici de segle, pateix una caiguda després de la crisi del 2008, i se situa en l'actualitat amb un cens entorn dels set-cents noranta mil habitants, centre d'una àrea metropolitana que en sobrepassa el milió i mig. Representa el 15,9 % de la població de la Comunitat Valenciana i és, per grandària demogràfica, la tercera ciutat d'Espanya.

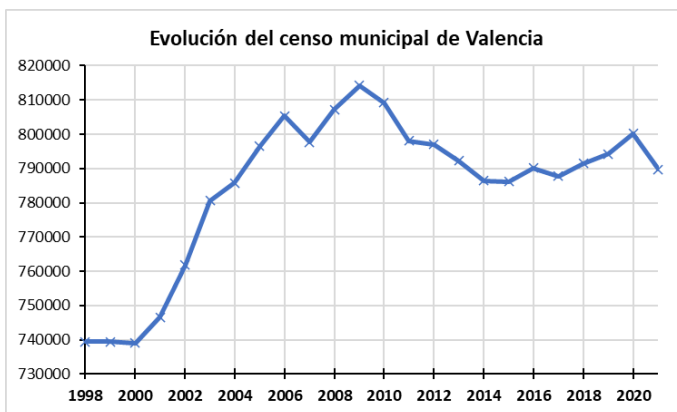


Figura 01. Evolució del nombre d'habitants al terme municipal de València (font INE).

Amb un parc automobilístic de quasi mig milió d'unitats i una xarxa viària principal d'uns tres-cents quilòmetres, constituïria el principal contribuïdor als nivells de contaminació atmosfèrica en l'entramat urbà, on les emissions directes procedents de l'àmbit domèstic (principalment calefaccions) i de l'activitat empresarial tindrien un impacte menor. Caldria no oblidar la potencial incidència del trànsit portuari que acull cada any quasi huit mil vaixells de diversa naturalesa que accedeixen als diferents molls de les instal·lacions portuàries, amb diferents temps de permanència.



MATERIALS I MÈTODES

En aquest context normatiu, i en relació amb les peculiaritats/complexitats de la contaminació urbana, els captadors passius proporcionen una eina útil de treball, que complementaria avantatjosament la disponibilitat d'una xarxa de cabines automàtiques amb mesures en continu.

Els *dosímetres passius* consisteixen, generalment, en un xicotet contenidor (habitualment en forma de tub, amb una part permeable -moltes vegades aire-) amb un extrem exposat a l'ambient i un altre tancat, en el qual el gas present en l'ambient és transportat per difusió molecular des de la part oberta fins a la part tancada, on és absorbit per alguna substància captadora depositada prèviament.

Aquests elements mostrejadors presenten alguns clars *avantatges* davant altres mètodes de mesura actius o automàtics:

- no necessiten energia elèctrica ni cap classe de protecció externa especial, per la qual cosa poden ser utilitzats en localitzacions remotes, on no poden ser emprats altres mètodes de mesura;
- resulten en general fàcils de preparar, utilitzar, emmagatzemar i analitzar;
- no requereixen calibratge en camp;
- proporcionen en general un procediment de mesura econòmic, per la qual cosa pot ser utilitzat simultàniament en diversos emplaçaments, permetent una àmplia cobertura espacial (en tot cas molt major que els costosos equips electrònics).

Naturalment, també presenten *inconvenients* en comparació amb altres tècniques de mesura:

- no poden utilitzar-se en curts períodes de temps, i proporcionen només les concentracions integrades (mitjana) per a l'interval temporal d'exposició;
- poden ocórrer errors deguts a les fluctuacions en les concentracions del contaminant en l'atmosfera i per variació de les condicions meteorològiques;
- requereixen anàlisi en laboratori, per la qual cosa es necessita una mínima infraestructura en aquest sentit;
- la col·locació/recollida en camp exigeix cert desplegament de personal i de recursos mòbils.

Per tant, cal resumir que l'avantatge més rellevant de la metodologia passiva és el baix cost que representa, que la fa una arma útil per a la mesura de contaminants en diversos punts simultàniament, també aporta la potencialitat d'una elevada cobertura espacial, i compta com a major limitació el fet de proporcionar valors integrats sobre períodes de temps relativament llargs, amb la consegüent penalització en la resolució temporal. En general les limitacions/mancances que presenten els dosímetres estan donades pel mateix *procés de difusió*, la *variabilitat de la concentració atmosfèrica*, les *interferències químiques* o l'*eficàcia de fixació i extracció de la mostra*.

Es compilen ací els resultats experimentals d'una seqüència continuada de cinc anys de mostres amb captadors passius en l'entorn urbà de València, inicialment dissenyats i executats amb l'objectiu de caracteritzar l'estat de contaminació per diòxid de nitrogen amb una alta resolució espacial a l'entorn de la ciutat de València i la seua àrea d'influència.



Disseny experimental.

La xarxa de mesuraments dosimètrics que s'ha estat mantenint en totes les campanyes experimentals compta amb dues distribucions de mesures, una de les quals es refereix com a *regular* o *semiregular*, i que s'estén sobre un rectangle d'aproximadament 11x10 km, centrat en el nucli urbà, i en la qual es distribueixen un total de 97 punts de mesura (figura 02), assegurant-ne un per cada cel·la d'1x1 km (ací disposats de manera aleatòria); i una segona distribució *perifèrica*, constituïda per 8 punts addicionals que conformen un arc a l'entorn de la ciutat i que se situen en ambients estrictament rurals (no considerada en l'anàlisi present). A diferència d'aquests últims, els emplaçaments en la primera de les xarxes resulten bastant heterogenis, i inclouen zones amb diferents taxes de trànsit, diferents graus d'urbanització, de densitat de població, etc. En tots els casos s'ha assegurat que el microemplaçament complisca una sèrie de requisits mínims que pogueren esbiaixar les mesures, com són una bona ventilació, allunyament de fonts i emissions directes, etc.

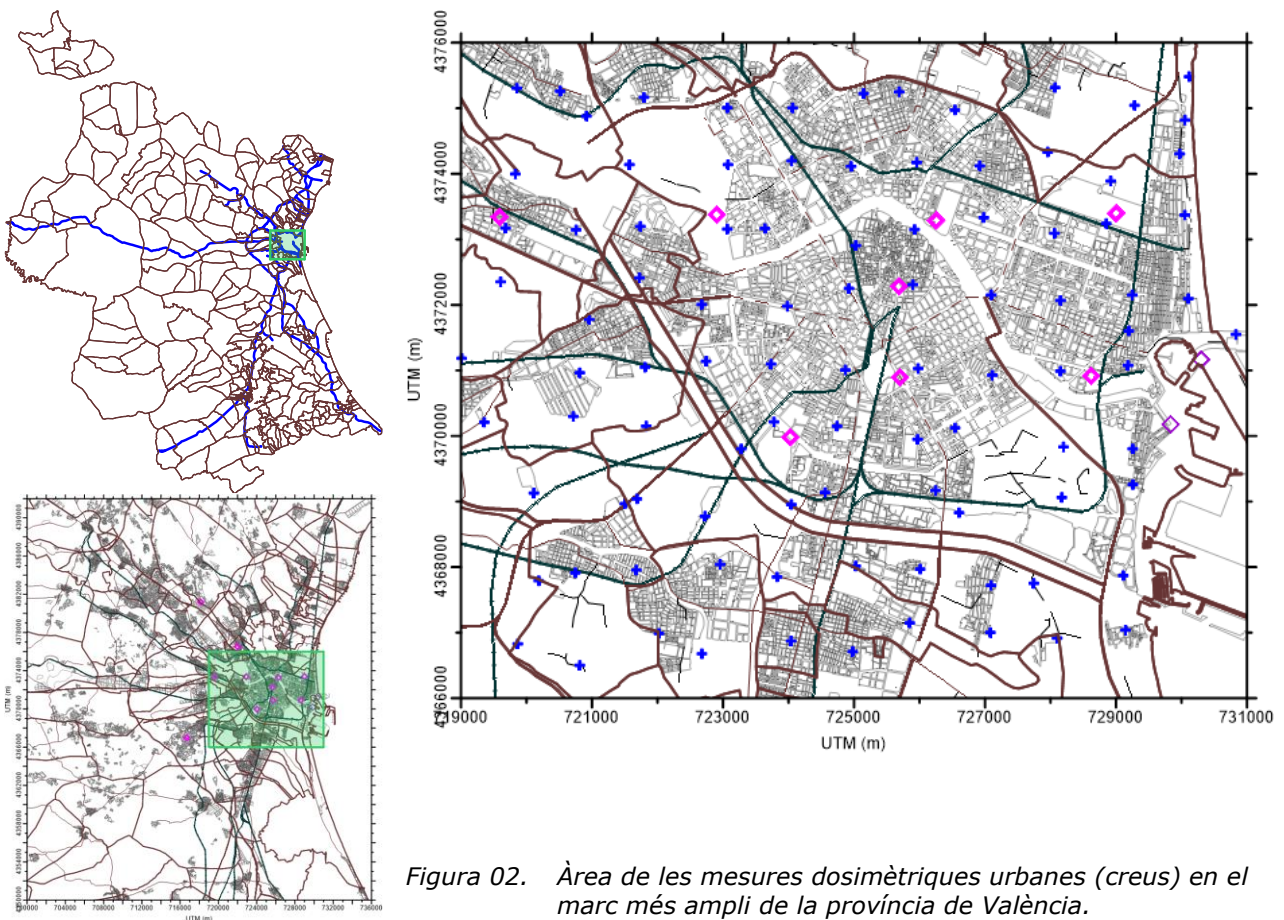


Figura 02. Àrea de les mesures dosimètriques urbanes (creus) en el marc més ampli de la província de València.

És clar que les diferents localitzacions estaran afectades per factors locals que condicionen fortament els nivells registrats, i la caracterització dels quals podria matisar-se en un estudi de més detall. Entre aquests trets condicionants caldria diferenciar-ne dos grans tipus: els que afectarien el grau de ventilació de l'emplaçament (amplària del carrer, altura d'edificis pròxims, presència d'espais oberts, alineació amb els vents predominants...), i els derivats de la intensitat de les emissions pròximes (proximitat a xarxes viàries, freqüència i ocupació automobilística, densitat de població, tipologia de vehicles...).



Dins de l'àmbit espacial delimitat per la distribució de la xarxa regular se situen huit estacions automàtiques de la xarxa valenciana de vigilància i control de la contaminació atmosfèrica, i que són les que en conjunt s'utilitzaran com a comparació amb les mitjanes dosimètriques (*Pista de Silla, Avinguda de França, Molí del Sol, Vivers, Bulevard Sud, Politécnic, Centre i Quart de Poblet*). Addicionalment s'haurien incorporat altres dues cabines situades dins del recinte portuari de la ciutat, inicialment no disponibles (una de les quals, de recent instal·lació -2021-) i per això no s'han incorporat al tractament quantitatiu exposat.

La gràfica següent compila la disponibilitat temporal de les campanyes experimentals dosimètriques realitzades amb una cobertura i metodologies similars, des de l'any 2002. Excepte l'any 2009, en què es van realitzar amb una certa profusió, les campanyes es dugueren a terme de manera dispersa i només des del 2017 s'assegurà un mostreig estacional amb quatre mesuraments anuals en períodes similars, que cobrien ja un total de cinc anys complets (l'any 2020, fortament afectat per les conseqüències de les restriccions davant la pandèmia de la Covid-19, es feu un mostreig extra durant un temps d'activitat social reduïda, que no s'ha incorporat en la present anàlisi per considerar que els resultats estan fortament esbiaixats per tals circumstàncies).

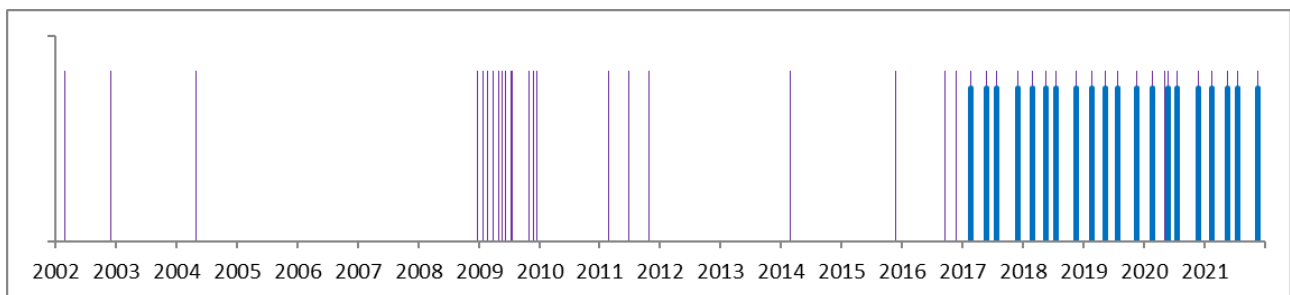


Figura 03. Disponibilitat de mostres dosimètriques en l'entorn urbà de la ciutat de València i selecció dels cinc anys recents, en els quals es disposa de quatre campanyes en els mateixos períodes estacionals, per als càlculs que es presenten.



RESULTATS

Es mostren a continuació els resultats dels mesuraments dosimètrics realitzats entre els anys 2017 i 2021 sobre la xarxa semiregular en la finestra més urbana.

Entorn atmosfèric

Els mesuraments dosimètrics que s'analitzen, obtinguts al llarg dels cinc anys recents tenen una cobertura completa de quatre mostrejors individuals i independents, distribuïts estacionalment, aproximadament en dates molt similars. Amb un temps d'exposició dels captadors passius molt pròxim a una setmana en cadascuna de les campanyes, els quatre mostrejors anuals representen només el 7,7% del temps total de tot un any. Malgrat que els mostrejors individuals se situen en períodes ambientalment ben diferenciats, no necessàriament recullen suficientment tota la variabilitat aerològica del període complet que determina la capacitat dispersiva de l'atmosfera, amb el potencial baix de les concentracions respecte al que podria ser el comportament normal.

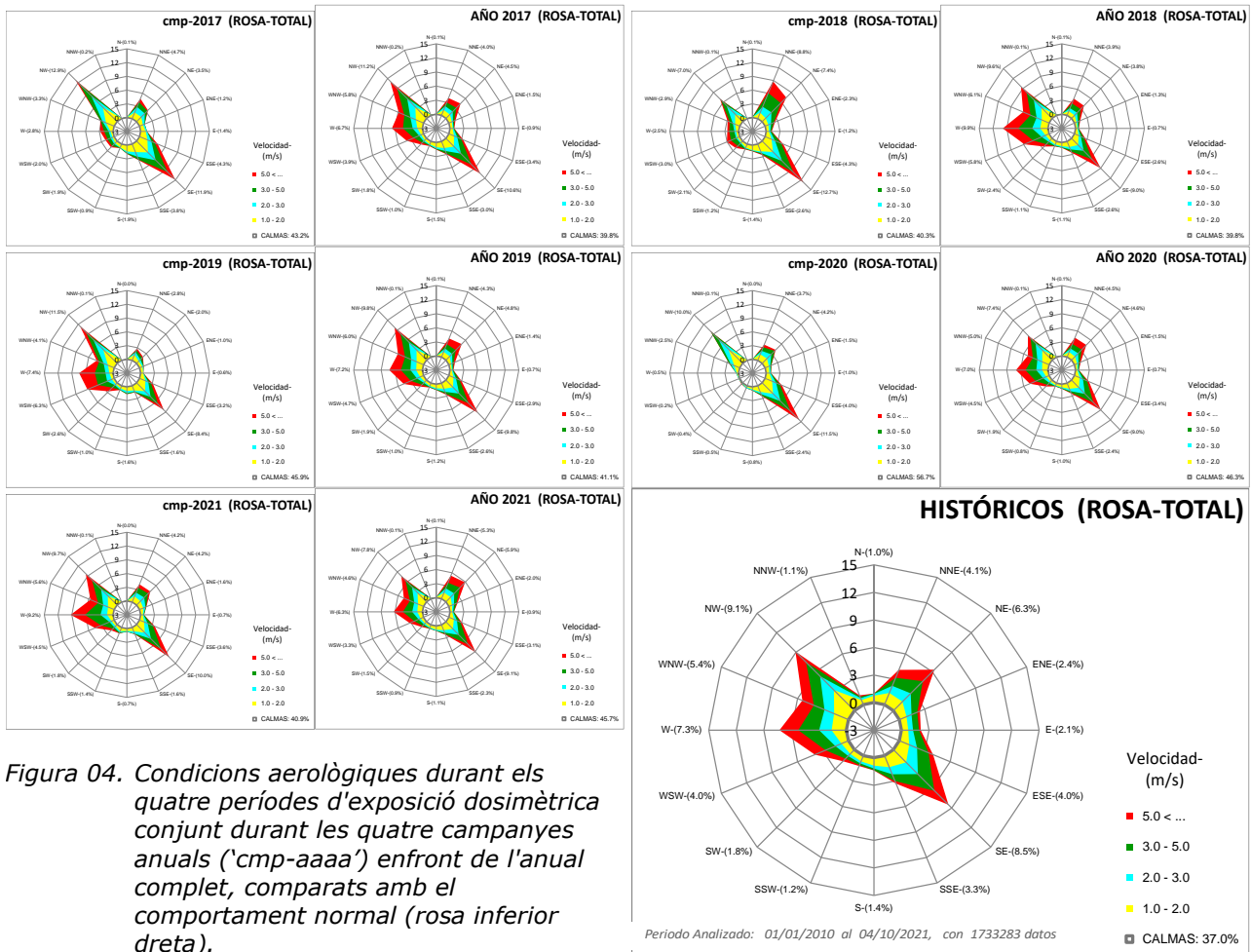


Figura 04. Condicions aerològiques durant els quatre períodes d'exposició dosimètrica conjunt durant les quatre campanyes anuals ('cmp-aaaa') enfront de l'annual complet, comparats amb el comportament normal (rosa inferior dreta).

La dinàmica atmosfèrica a l'entorn d'estudi està determinada en gran part de l'any, i especialment en el període estival, per un règim de circulacions locals en superfície -brises de mar- que, en termes generals, bufen de la mar (preferentment del sud-est) durant el dia, amb intensitats moderades, i rolen al nord-oest a la nit, amb un flux de terra amb intensitats baixes,



i tots dos períodes es jalonen per transitoris de calmes o vents molt febles i variables. Els vents més intensos corresponen a situacions sinòptiques ben definides que en general s'associen a l'entrada de fronts atlàntics (nord-est), els temporals de llevant o la advecció d'aire continental sota un règim del primer quadrant (nord-est).

Les roses de vent de la figura 04 reflecteixen, per parelles, la distribució percentual de vents durant el període estricte d'exposició dels captadors, al costat de l'elaborada a partir dels registres de l'any complet (en gran es mostra la rosa climàtica que incorpora la sèrie de mesures 2010-2021). La distribució de vents per a cadascun dels anys complets no discrepa molt morfològicament de la sèrie climàtica, i són més substancials les diferències en els períodes estrictes d'exposició dels dosímetres pel biaix que pot induir una seqüència (~una setmana) tan curta de mesures. En les estadístiques anuals (figura 05) els tres primers varen resultar una mica més ventosos, davant dels dos últims, amb major freqüència de calmes i vents mitjans per davall dels normals. En els diferents mostrejjos (conjunt de quatre setmanes coincidents amb l'exposició dels captadors passius) la variabilitat és major, degut també al fet que no tots els règims circulatoris estan proporcionalment representats. En general la intensitat de les velocitats és inferior a les dels seus corresponents anys, la qual cosa destaca en les campanyes del 2017 i 2020. En ambdues la component sinòptica de l'oest/nord-oest, caracteritzada per vents més intensos, està pràcticament absent, amb una elevada proporció del règim de brises del segon quadrant, preferentment diürn i molt moderat. Especialment les campanyes realitzades durant el 2020 reflecteixen una elevada proporció de calmes i vents fluixos, amb mitjanes molt inferiors a la resta dels casos.

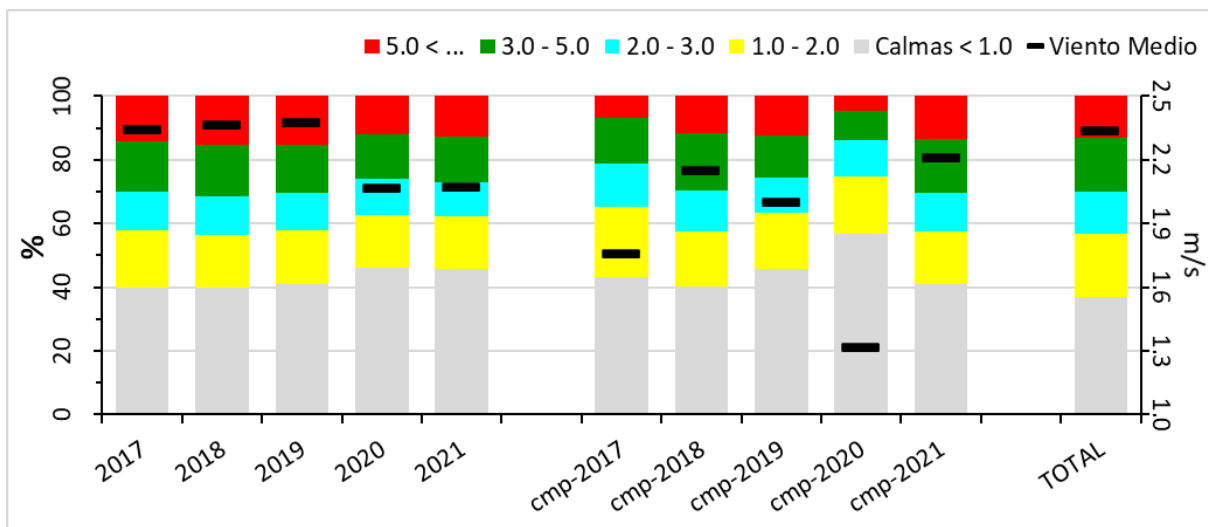


Figura 05. Comparació dels percentatges de vents per rangs d'intensitat per als períodes anuals i només campanyes (sobre la mateixa escala de colors de les roses), al costat de la distribució climàtica (s'assenyalen els valors mitjans del vent sobre l'eix dret -guió-).

Trànsit vehicular

Els nivells de concentració ambient de diòxid de nitrogen a la ciutat de València tenen l'origen principal en el trànsit rodat, amb un impacte menor i més localitzat procedent de les activitats portuàries que, al costat de les emissions dels vaixells, contribueix també amb les de vehicles associats a les mateixes operacions industrials (càrrega i descàrrega, distribució, manteniment, etc). El sistema circulatori urbà és molt complex, encara que compta amb pautes de comportament sistemàtiques que, amb diferències entre la varietat de carrers, es repeteixen amb gran estabilitat: així, existeix una clara ona diürna, amb una distribució en forma d'altiplà



durant les hores centrals, una variació setmanal, amb un descens els caps de setmana, més marcadament els diumenges, i una variació estacional, en la qual s'aprecien especialment els períodes vacacionals. Puntualment modificacions en el traçat o ordenament urbà poden introduir grans canvis d'intensitat circulatoria que, en la majoria dels casos es reabsorbeix en l'entorn pròxim. L'avaluació del comportament del trànsit en el context de l'anàlisi actual es va fer computant la mitjana sobre un gran nombre de vies circulatories distribuïdes a l'entorn de la ciutat (figura 06), l'evolució mitjana mensual de la qual durant els cinc anys d'interés es presenta en la figura 07 (font: web Ajuntament de València).

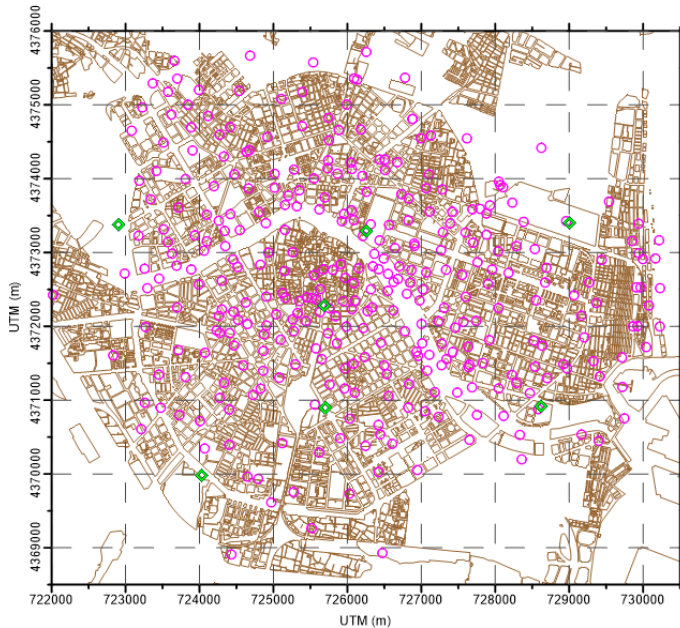


Figura 06. Xarxa de trams (centroïdes) sobre els quals es fa una mitjana de l'evolució del trànsit anual a la ciutat de València.

S'aprecia un comportament regular durant els tres anys pre pandèmic, amb nivells mensuals bastant sostinguts, excepte la caiguda d'agost, fins a arribar les restriccions pel Covid-19, durant les quals el descens superà el 75 % en els mesos més intensos, amb una baixada mitjana anual aproximadament del 33 % el primer any i una recuperació fins només un 10 % al llarg de 2021. L'ajust de la tendència indicaria una reducció mitjana de la intensitat circulatoria en el conjunt de tot el nucli urbà una mica superior al 5 %. Si es calcula la reducció percentual node a node i es representa de manera contínua en l'espai urbà, s'obté el mapa de la figura 06, on s'observa com es distribueix aqueix percentatge, amb una configuració nítida amb un mínim ben definit en el centre del barri antic amb reduccions relatives per damunt del 20 %.

L'associació de la reducció circulatoria amb els canvis socials (inclosa la restricció a la mobilitat en determinats períodes) derivats de les mesures de lluita contra la propagació del virus semblaria fora de tot dubte, en una clara correlació amb la intensitat de les mesures i un procés general de recuperació cap a nivells pre pandèmics. D'altra banda, la disminució conjunta sobre la ciutat no sembla haver sigut uniforme, amb un impacte percentual que es mostra en el mapa de la figura 08, en el qual el barri antic més cèntric de la ciutat apareix com la zona de major descens relatiu. En aquest cas, la morfologia de la distribució podria estar condicionada per factors addicionals (p.e. actuacions urbanístiques, reordenació viària, etc.) als induïts per les mesures generals referides.

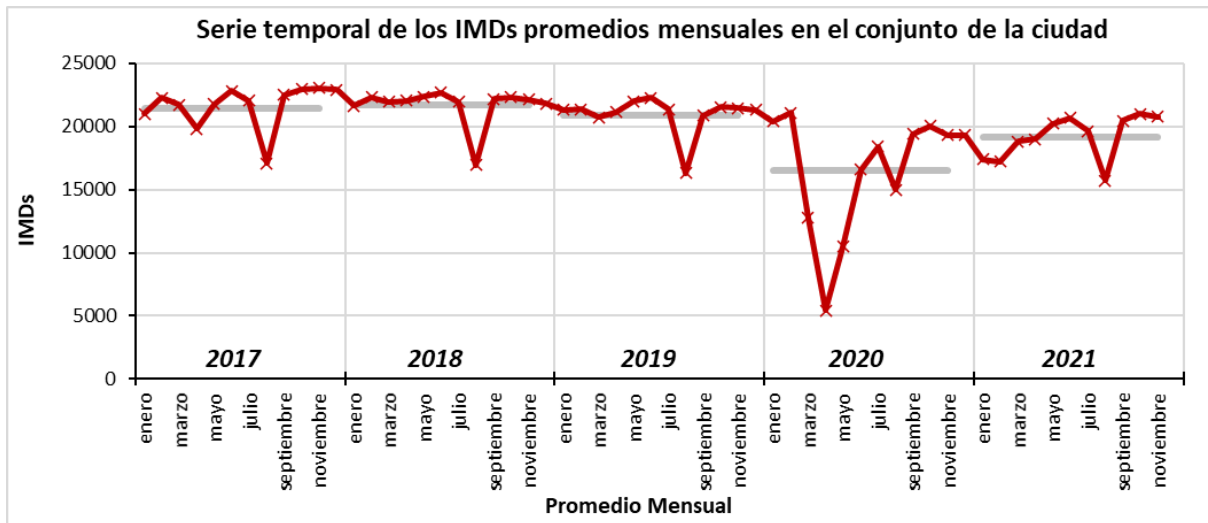
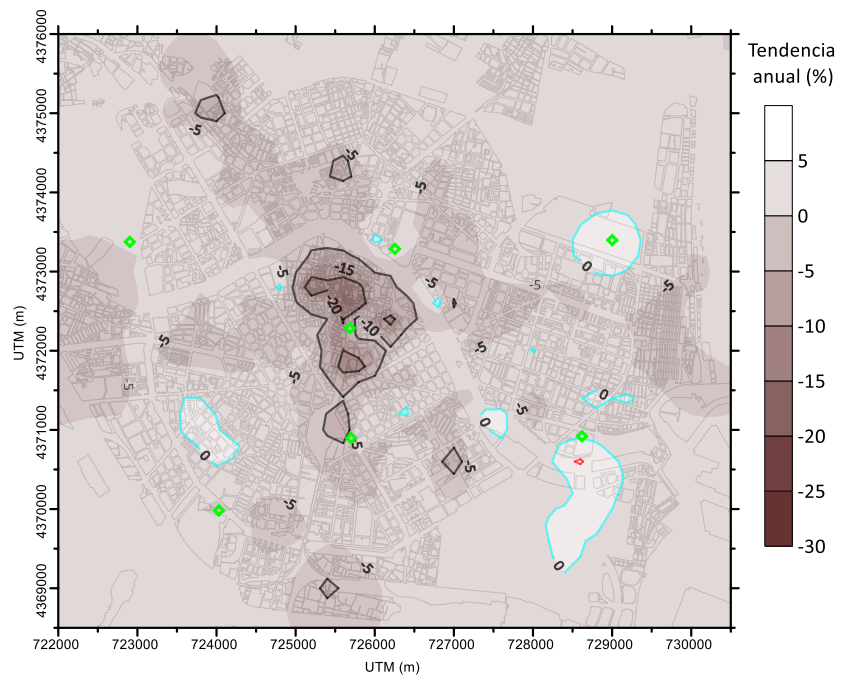


Figura 07. Variació mensual dels IMD fets una mitjana de (la línia horitzontal representa la mitjana anual) sobre un conjunt ampli de vies de la ciutat de València (font: web Ajuntament de València).

Figura 08. Estimació del percentatge de variació anual mitjana del trànsit sobre el territori urbà.



Trànsit portuari

El port de València, situat a l'est sud-est del nucli urbà, per damunt de la nova desembocadura del Túria, i no gaire allunyat d'entramat edificat, ocupa una superfície de més de 5,5 km², amb una extensa capacitat d'atràcada (de més de 13 km distribuïts en nombrosos molls). En l'espai portuari es disposa d'instal·lacions especialitzades d'alt rendiment per a tot tipus de trànsit, que inclou càrregues a granel líquides i sòlides, mercaderia general convencional i de contenidors,



així com circulació de passatgers. L'activitat constitueix un focus addicional d'emissions a l'atmosfera, que procedirien del trànsit de vaixells, així com de l'automobilístic/ferroviari (en gran mesura pesat) derivat del trasllat de mercaderies cap a/des dels punts de càrrega/descàrrega, així com la mateixa maquinària del port encarregada precisament dels treballs d'estiba. El potencial impacte dels vaixells, a través de les seues emissions, depèn fortament de la seua tipologia, grandària i temps de permanència en port, per la qual cosa el mer còmput d'atracades no donarà necessàriament una idea quantitativa de la seua contribució als nivells d'immissió.

Les gràfiques de la figura 09 representen la variació del nombre de vaixells atracats en el port de València segons la seua diferent naturalesa al llarg dels cinc anys de referència i la variació relativa respecte al 2017. Pot apreciar-se que l'any 2020 sí que suposa una reducció neta del trànsit, amb recuperació al llarg del 2021, encara que sense arribar als nivells dels tres anys anteriors. Numèricament la categoria amb més trànsit correspon a portacontenidors, seguits de les naus de passatgers (en les quals s'inclouen creuers i mixtos -ropax-), i són aquests últims els que proporcionalment més decreixen en unitats durant el 2020.

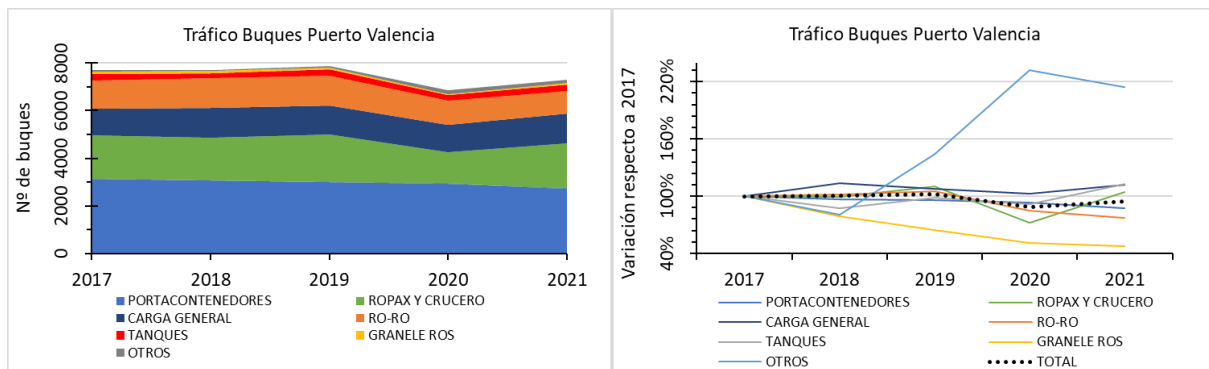


Figura 09. Nombre i tipologia de vaixells que accedeixen al port de València (font: anuaris de l'APV) i el percentatge de variació respecte al 2017 (dreta).

Xarxa de vigilància

Durant els cinc anys d'interés les huit estacions automàtiques (pertanyents a la xarxa valenciana de vigilància i control de la qualitat de l'aire) situades en la finestra espacial de distribució dels captadors passius (vegeu figura 02) mostren una tendència decreixent general de les concentracions mitjanes anuals de NO₂, que es representa en les gràfiques de les figures 10 i 11, amb un pendent mitjà de -3,5 (cosa que significaria un descens mitjà anual d'aquest nombre de µg/m³, amb valors individuals que oscil·len entre els -8,8 i -1,8, en tots els casos negatius). Aquest escenari de reducció dels nivells ambient durant el quinquenni analitzat no necessàriament es reflecteix per als períodes en els quals es realitzen les campanyes de mostreig amb els captadors passius, la qual cosa es valora en la figura 11, on al costat de la corba mitjana anual es visualitza la mitjana de les mateixes cabines durant el temps simultani d'exposició dels dosímetres (barres). La figura posa de manifest la diferència en la representació de l'any complet només pel període de les campanyes, en termes de nivells mitjans de contaminació ambiente de NO₂, que en tots els casos sol estar un poc per damunt de la mitjana anual (un 19 % en el cas de la major diferència). Malgrat això la tendència negativa es manté igualment, amb un pendent mitjà molt similar (fins i tot lleugerament menor: -3,9).



La diferència en els valors mitjans de les estacions automàtiques durant les campanyes de mesures dosimètriques respecte a les mitjanes anuals representaria el biaix mostrat a causa d'una cobertura temporal limitada. Tals factors s'utilitzaran per a corregir (uniformement) les mitjanes anuals dosimètriques, i s'aproximarien al valor poblacional anual.

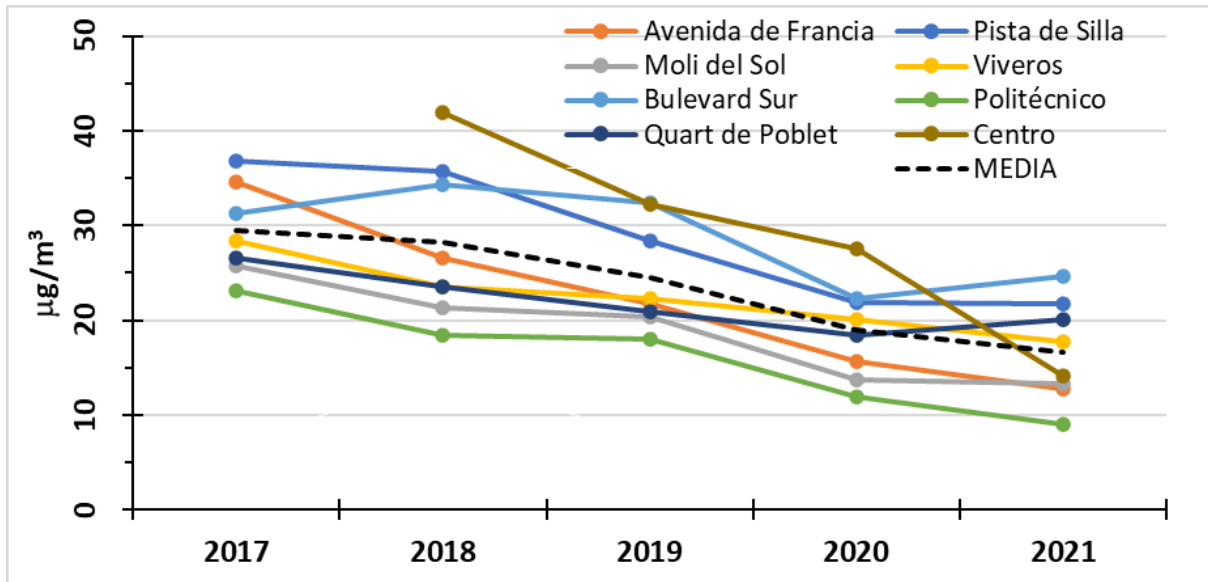


Figura 10. Evolució de les concentracions mitjanes anuals de NO₂ en les huit estacions automàtiques dins de la finestra de la xarxa dosimètrica semiregular; es mostra a traços la corba mitjana.

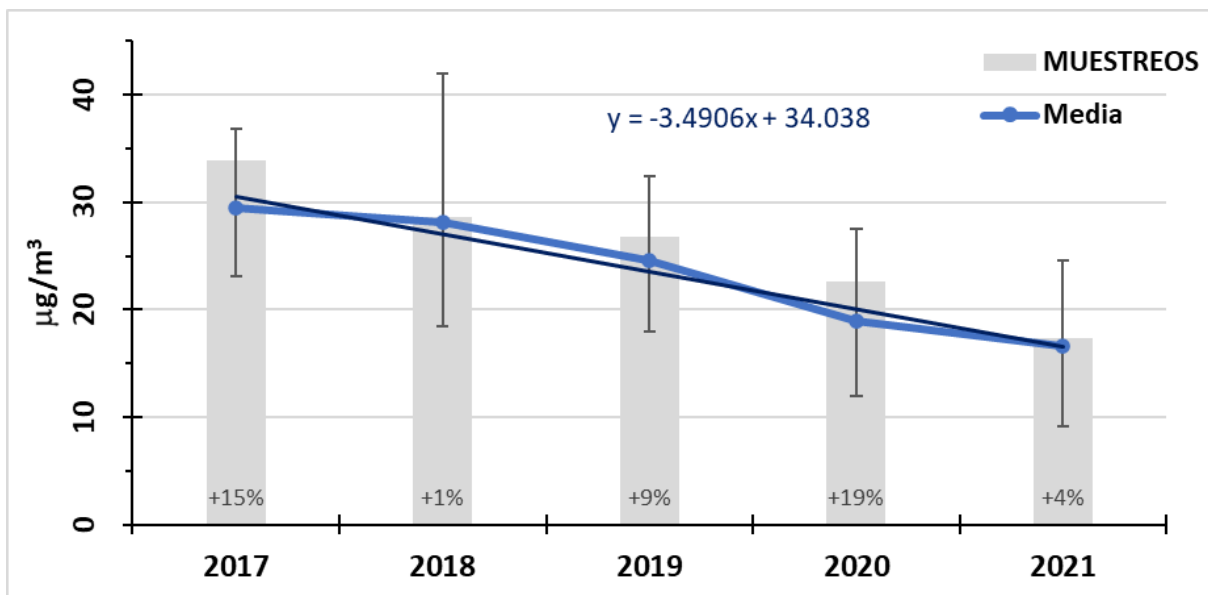


Figura 11. Evolució anual mitjana de les concentracions de NO₂ en les huit estacions automàtiques dins de la finestra de la xarxa dosimètrica semiregular (línia blava, amb els màxims i mínims i l'ajust de la línia de regressió) i valors mitjans conjunts (barres grises) coincidents amb els períodes d'exposició dosimètrica cada any (el percentatge indica la diferència percentual del període de mostreig enfront de l'any).



Mostrejos dosimètrics

La sèrie de mesures dosimètriques està composta per valors de concentració ambient de diòxid de nitrogen en 95 punts distribuïts al llarg de l'entramat urbà en una àrea aproximada d'uns 10x10 km (figura 02), corresponents a mitjanes aproximadament setmanals. Quatre campanyes anuals permeten obtenir mapes continus de concentració a partir de la interpolació espacial de les mitjanes en cada node, obtenint la sèrie de la figura 11. La idoneïtat de la mostra com a representativa de la mitjana anual vindrà determinada pel biaix que podrien introduir les condicions meteorològiques particulars durant el període de mesura, com a factors de dispersió de les emissions, al costat de possibles diferències en el comportament del trànsit, com a origen principal de les espècies contaminants en l'escenari urbà. Tots dos aspectes ja es van introduir independentment en paràgrafs anteriors. L'ajust a la referència anual s'ha realitzat mitjançant la multiplicació de les dades pel corresponent factor derivat de la figura 11, sota el supòsit que les diferències mostrals enfront del període complet que presenten les cabines serien les mateixes, amb uniformitat espacial, que afectarien els mesuraments dosimètrics.

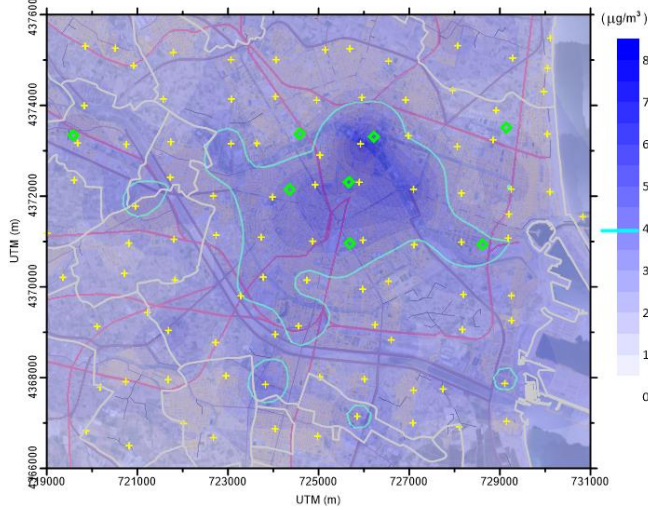
Qualitativament els diferents mapes anuals (figura 12) mostren una distribució radial, amb el màxim absolut en la zona central del barri antic de la ciutat, que disminueix en allunyar-se, i hi apareixen alguns màxims secundaris que reflecteixen l'aportació de les grans vies. Quantitativament s'aprecien grans variacions en els nivells de concentració entre els diferents anys, que es visualitzen bé en el traçat de la isocorba de 40 µg/m³ representada en tots aquests.

Els valors en cadascun dels nodes de mostreig per als cinc anys d'estudi es mostren addicionalment en la figura 13, en relació amb les mitjanes absolutes (obtingudes sobretot del banc de dades disponibles -figura 03- i del seu marge de variabilitat). Dos dels anys (2017 i 2019) se situen lleugerament per damunt de les mitjanes, mentre que la resta tendeixen a mostrar valors sensiblement inferiors en tots els nodes, en coherència també amb la figura 15. El que es repeteix, de manera comuna a totes les campanyes analitzades, és la diferència relativa dels valors entre diferents emplaçaments, la qual cosa habitualment s'interpreta com un patró característic de la ciutat, determinat per la combinació de la seua distribució urbanística i flux circulatori, on l'efecte dispersiu del vent contribueix a diluir en major o menor grau les concentracions generals, però amb el manteniment de les diferències relatives en l'espai, confirmant els resultats dels diferents mapes de la figura 12.

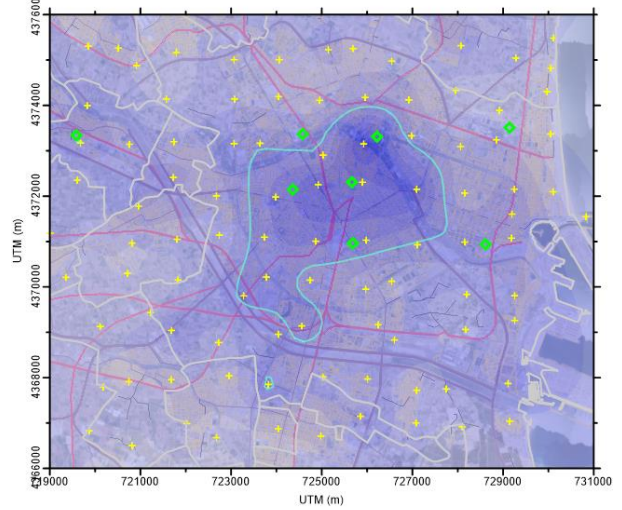
Els valors individuals en l'espai de treball recorren un ampli rang de concentracions, les poblacions de les quals (mitjanes de les quatre campanyes per a cada node) es resumeixen estadísticament en el diagrama de caixes de les figures 14 i 15, en què es posa de manifest respectivament la variabilitat interanual absoluta i relativa de les mesures de concentració en els diferents emplaçaments al llarg de l'espai urbà. Amb poblacions que es distribueixen segons mitjanes variables (no presenten una tendència uniforme en els cinc anys, excepte la proverbial baixada dels anys 2020 i 2021), però que reflecteixen un rang de variabilitat molt constant al llarg dels anys. Els histogrames de les concentracions dosimètriques de la figura 16 reflecteixen la forma acampanada de cada corba anual (més apuntada la del 2020), molt similars entre si, excepte el desplaçament que reflecteix les diferències en les mitjanes, i amb una lleugera asimetria positiva en tots els casos (mitjana superior a la moda, amb biaix cap als valors més alts).



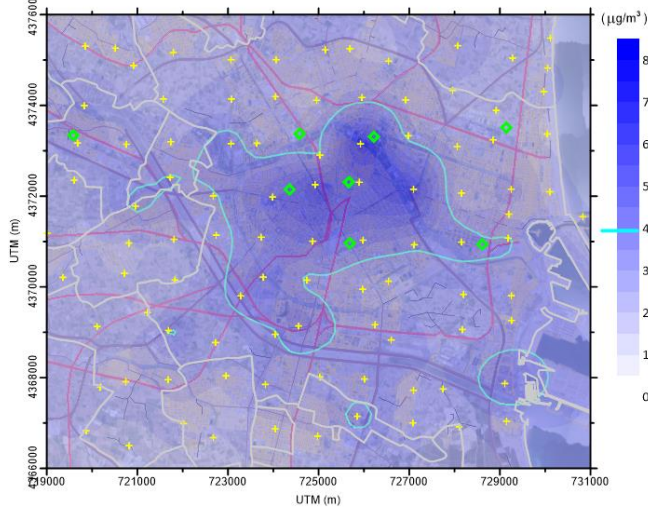
2017



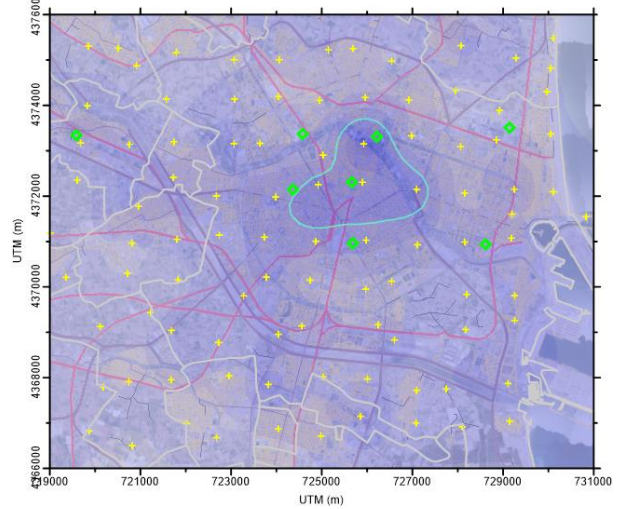
2018



2019



2020



2021

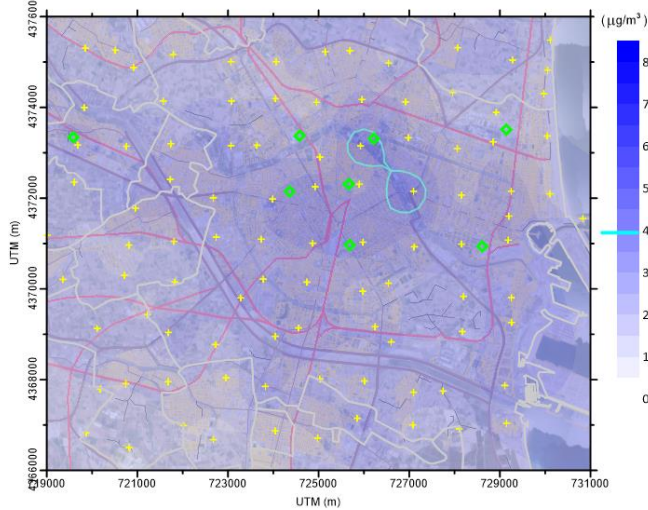


Figura 12. Distribució espacial dels nivells mitjans anuals (ajustats) per als anys 2017 a 2021 (de dalt esquerra cap a la dreta i a baix) de la concentració dosimètrica de NO₂ en el context urbà de la ciutat de València (es ressalta la isocorba de 40 µg/m³).

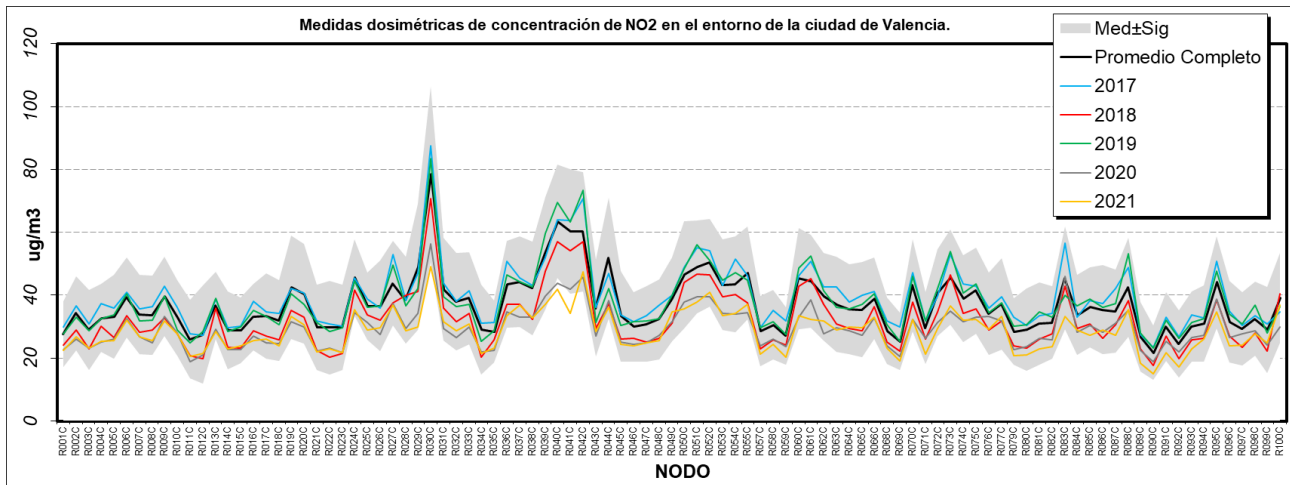


Figura 13. Representació dels valors dosimètrics mitjans anuals (no corregits) en els diferents nodes de la xarxa pel període 2017-2021 respecte a la referència històrica (mitjana \pm sigma).

L'ajust lineal de la mitjana anual dosimètrica per a aquests cinc anys (figura 17) mostra un pendent de les concentracions d'aproximadament $-2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{any}$ (-1.7 per a les dades corregides) en el conjunt de tot el domini de mesura. Com es va veure, la regressió corresponent de les mitjanes anuals de les estacions automàtiques (figura 11) llança una tendència decreixent una mica major, la discrepància de la qual podria trobar-se en els baixos valors de la mitjana dosimètrica l'any 2018 enfront de la resta, que podrien respondre a un efecte de la representativitat dels quatre mostresos anuals respecte al comportament mitjà del mateix any. En tot cas el conjunt d'estacions automàtiques situades a l'entorn urbà no sembla representar el mateix comportament que les mesures dosimètriques distribuïdes, tal com mostra la diferent variabilitat anual en el quinquenni analitzat, segons reflecteixen els valors de la figura 19, on s'evidencia que tampoc la intensitat mitjana de trànsit representa la variable explicativa dels nivells mitjans passius/automàtics.

Si s'analitza la tendència per a cadascun dels punts de mesura es pot apreciar que la intensitat del descens no es distribueix uniformement en l'espai, sinó que presenta un màxim ben definit en el centre del barri antic, que coincideix en gran manera amb la distribució espacial de concentracions, tal com reflecteixen els mapes de la figura 18. En aquesta anàlisi desagregada espacialment, l'anterior ràtio mitjana de $-1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{any}$ assoleix valors inferiors als $-7 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{any}$ en el nucli central del barri antic de la ciutat. La distribució espacial de la tendència de les concentracions es correspon qualitativament bé amb la variació percentual del trànsit de la figura 08. No obstant això, l'intent de relacionar els nivells d'immissió amb el trànsit, com a font principal de les emissions, sobre els valors anuals no reflecteix una relació directa simple (figura 20), cosa que significa que estan participant altres factors (p.e. condicions dispersives) o que l'anàlisi hauria de fer-se a escales menors, en les quals la relació entre les intensitats circulatòries i els nivells pròxims de contaminació ambient estigueren menys mediatitzats pel complex entorn circumdant.

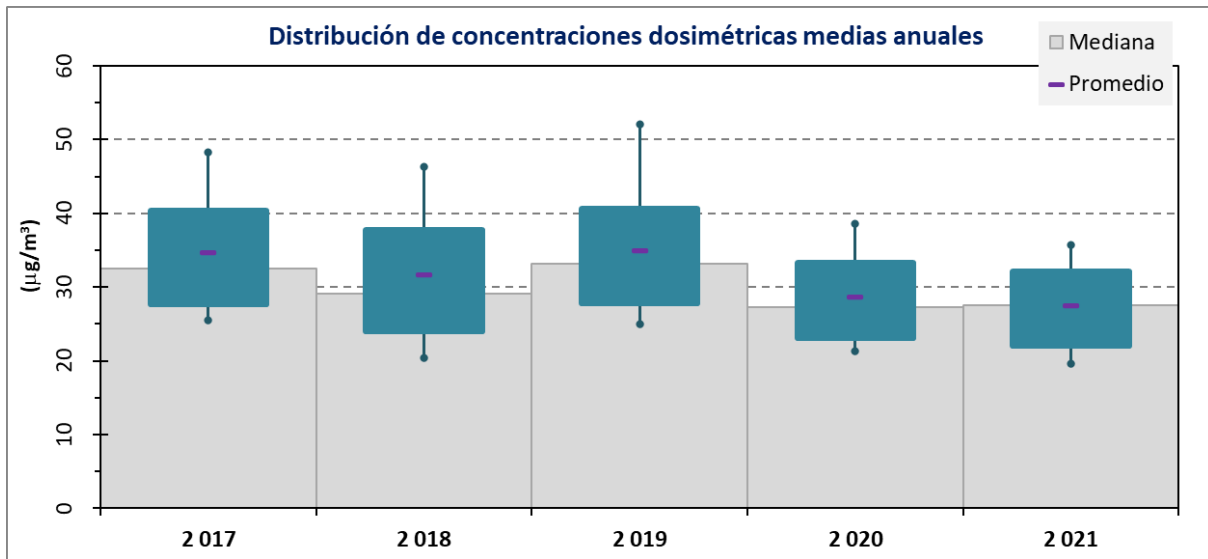


Figura 14. Evolució anual de les poblacions de concentracions mitjanes anuals de NO₂ (ajustades) en cada node de la xarxa semiregular (les caixes representen els percentils 95, 80, 20 i 05).

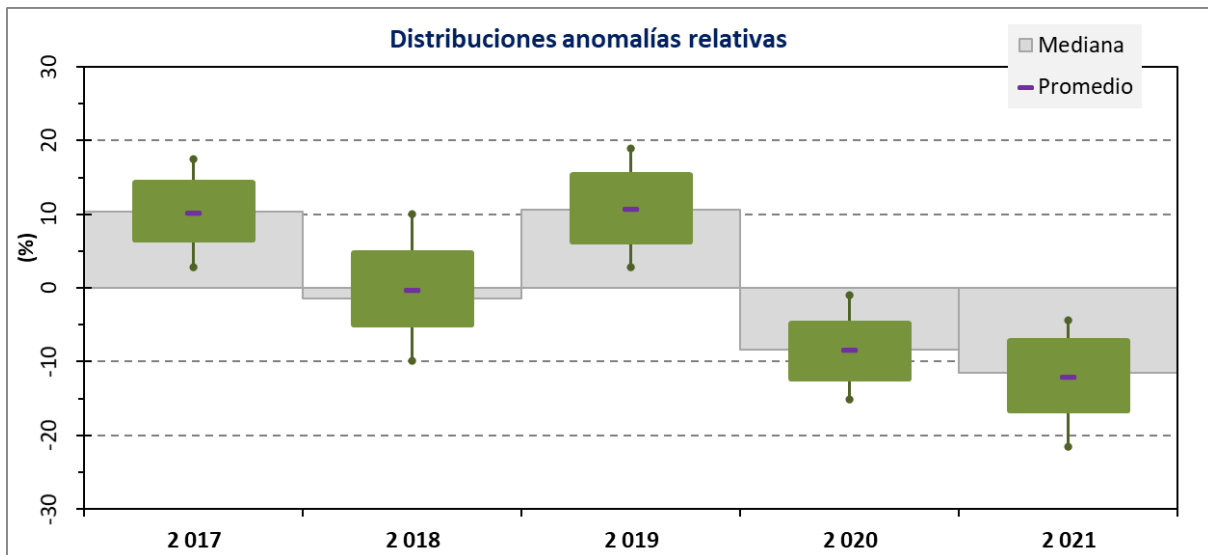


Figura 15. Variació anual de les poblacions de diferències relatives de la concentració de NO₂ en cada node de la xarxa semiregular respecte els valors mitjans del període quinquennal (la representació és similar a la de la figura 14).

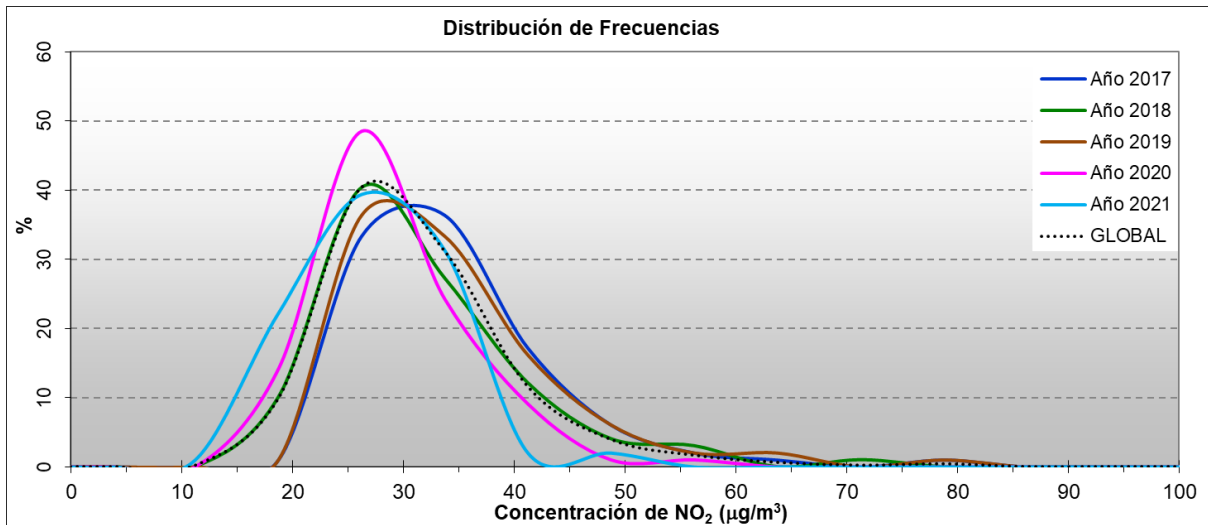


Figura 16. Distribucions de freqüències de les mesures dosimètriques mitjanes anuals -ajustades- de NO₂ per als diferents nodes de mesura de la xarxa semiregular que es representa amb línia discontinua la distribució global dels cinc anys.

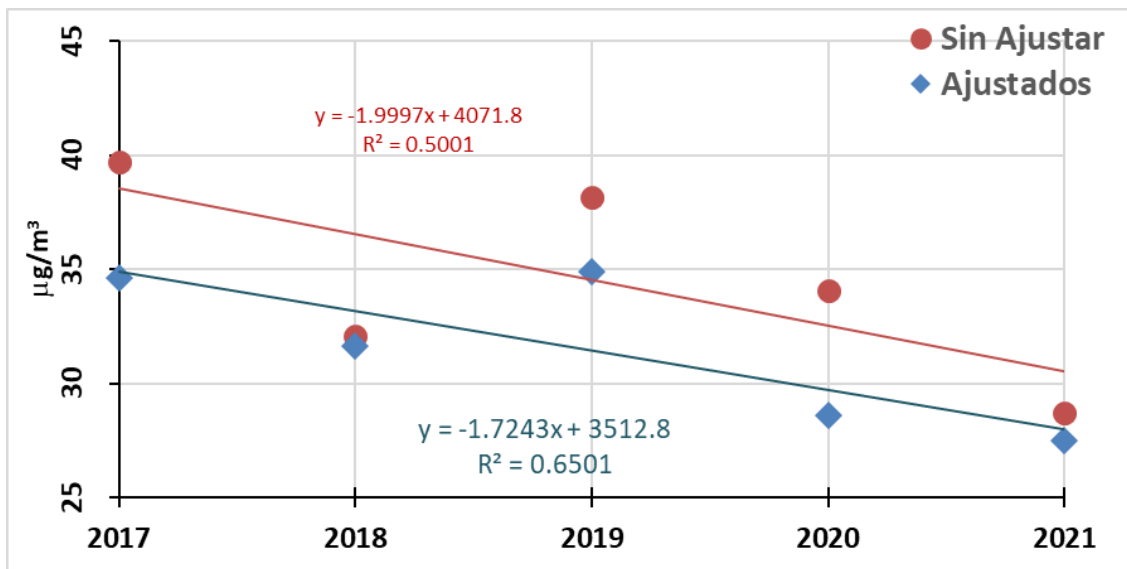


Figura 17. Evolució dels nivells dosimètrics mitjans absoluts anuals de NO₂ en la xarxa semiregular urbana de València. Es mostren els valors mitjans originals i els ajustats per les cabines (figura 11).

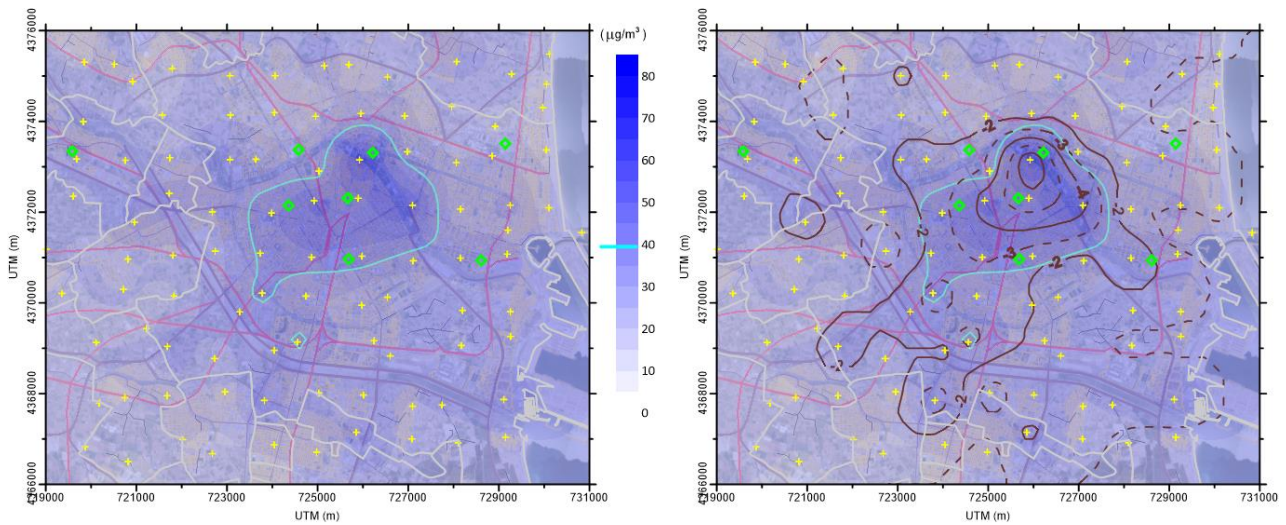


Figura 18. Distribució espacial dels nivells mitjans (anys 2017 a 2021 -ajustats-) de concentració dosimètrica de NO₂ en el context urbà de la ciutat de València (esquerra), al costat dels valors ajustats de la tendència en µg/m³/any (línia negra en el mapa de la dreta).

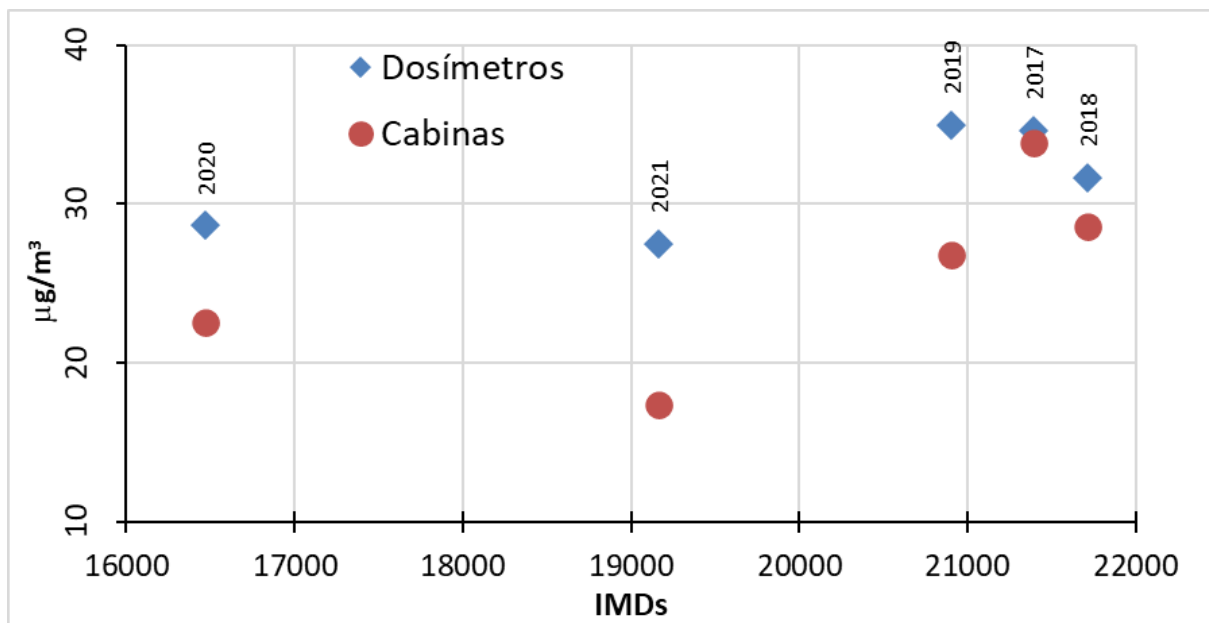


Figura 19. Relació entre els nivells mitjans anuals de les concentracions dosimètriques en la xarxa semiregular i les mesures automàtiques (mitjanes per a les huit estacions i només els períodes coincidents amb els mostrejos) enfront del trànsit mitjà a la ciutat.



L'intent de correlacionar les intensitats circulatòries (IMD) en el context urbà i els nivells de concentració ambient de contaminants (NO₂) presenten el problema d'un entorn molt complex en què la relació directa entre focus pròxims (trànsit) i nivells ambientals es manifesten fortament modulats per un entorn circumdant en el qual les emissions es produeixen continuadament en tot l'entramat viari, dispersant-se al seu voltant sota l'efecte del vent present, que interacciona amb les edificacions limítrofes (alternança de carrers i edificacions, que provoquen intenses canalitzacions i turbulències).

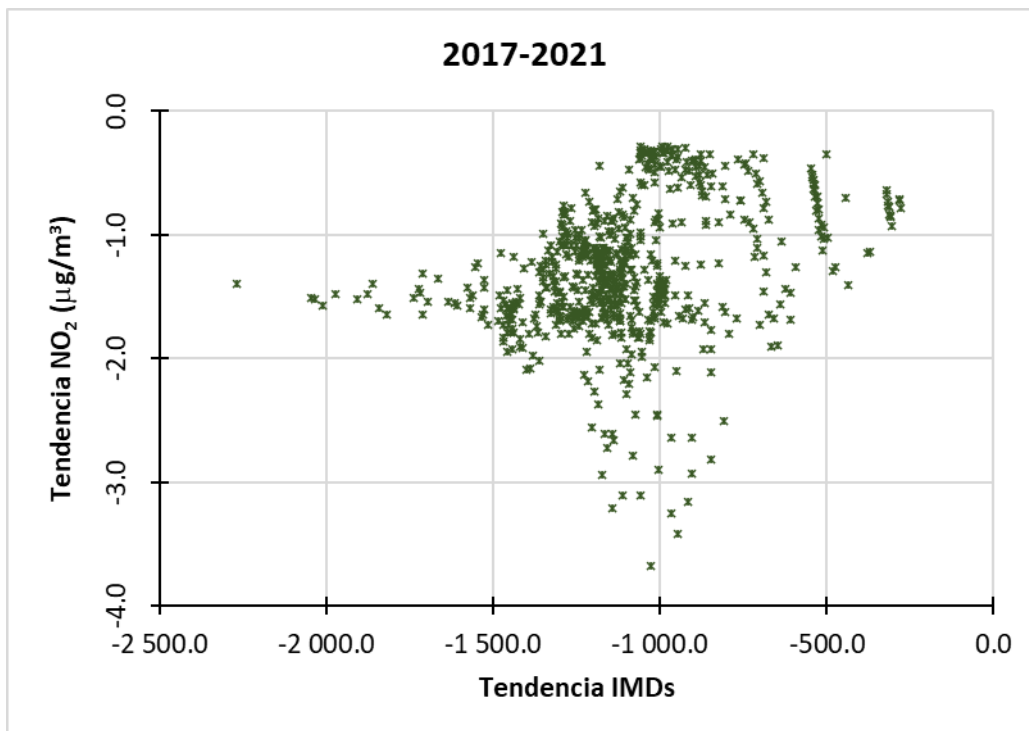


Figura 20. Relació entre els valors numèrics interpolats sobre l'àrea urbana (figura 02) de les tendències anuals de trànsit rodat i les corresponents tendències anuals dels nivells de NO₂, d'acord amb els valors presentats.

A partir dels nivells interpolats de concentració de diòxid de nitrogen (vegeu figures 12 i 18) i de les corresponents intensitats mitjanes diàries de trànsit (vegeu figures 06 i 08), diferents assajos han posat de manifest una absència clara de patrons, i falta una possible anàlisi més detallada. Com a exemple no definitiu la figura adjunta relaciona, en l'espai interpolat de les tendències viàries (figura 08) i dels nivells de NO₂ (figura 18), els valors ajustats dels relatius pendents per a cada píxel (~200m de resolució). Sense una relació ben definida, sí que hi apareixen alguns comportaments asimptòtics en els quals una tendència decreixent dels IMDs condueix a reduccions constants dels nivells ambient de diòxid de nitrogen, alhora que la tendència a la baixa d'aquests es correspon amb pendents estables de les taxes de variació del nombre de vehicles. La lectura de les conclusions anteriors ha de fer-se en el context d'una forta interrelació en l'espai urbà dels nivells de contaminació en un punt donat respecte al comportament de tots els factors contribuents en l'entorn circumdant més o menys extens.



DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

La ciutat de València, en una situació compartida per nombroses urbs de gran grandària, presenta nivells elevats d'òxids de nitrogen, associats principalment al trànsit rodat, que en el passat van conduir a situacions d'incompliment normatiu en alguna de les estacions de vigilància (mitjana anual per damunt del llindar de protecció a la salut). Es tracta d'entorns físicament complexos, amb emissions difuses embegudes en el seu si, sotmeses als processos dispersius atmosfèrics, la qual cosa genera forts gradients espacials al costat d'una gran variabilitat temporal. D'altra banda, es tracta d'entorns molt sensibles ja que concentren una gran densitat de població, la qual cosa representa una important exposició dels seus habitants als nivells d'immissió regnants.

En tals situacions les xarxes de vigilància, necessàriament amb un dimensionament limitat, no proporcionen una imatge realista del comportament del sistema de contaminants, amb una estructura molt més rica que la que poden reflectir un conjunt xicotet d'emplaçaments. En aquest sentit, el complement dels mesuraments automàtics amb altres procediments de mostreig, que afavoreixen una major cobertura espacial, permet compensar en gran manera les mancances referides.

Dins d'un programa sistemàtic de mesura dels nivells de diòxid de nitrogen mitjançant captadors passius a l'entorn de la ciutat de València s'han realitzat en els últims anys seqüències de quatre campanyes anuals distribuïdes estacionalment, seguint un procediment establert, amb la distribució de quasi un centenar d'elements de mesures dins d'una xarxa semiregular d'uns 10x10 km, assegurant un mostreig en algun punt de cadascuna de les gradetes d'1 km de resolució. En concret es disposa en aquest moment d'un període de cinc anys (2017-2021) amb els quatre mostresjos complets, que permeten una primera avaluació de les seqüències de mesures, amb l'important advertiment que el 2020 va registrar una inusitada pertorbació deguda a les fortes restriccions imposades en la lluita contra la pandèmia per Covid-19 i que van alterar profundament l'activitat socioeconòmica durant alguns mesos (entre altres coses amb una important restricció de la mobilitat). En aquest escenari el trànsit urbà de la ciutat sí que reflecteix una forta caiguda durant el segon trimestre del 2020, amb una notable recuperació al llarg de la segona meitat, mentre que el 2021 encara manté una molt moderada reducció (~10%) respecte als valors mitjans pre-pandèmics. Al seu torn, s'aprecia una reducció dels vaixells que atraquen en el port de la ciutat per al 2020, especialment pel que fa als que transporten passatgers (creuers i ferris), trànsit que numèricament es mostra pràcticament normalitzat en el 2021.

Les mesures dosimètriques proporcionen una imatge espacial del camp de contaminació urbana per NO₂ molt més detallada que l'obtinguda per les huit estacions automàtiques situades en la mateixa superfície. Per contra, les primeres poden estar fortament esbiaixades per la curta cobertura temporal, comptant amb continuïtat en el cas de l'equipament electrònic, que va ser utilitzat per a corregir les diferències del mostreig discret respecte a l'anyal.

Els patrons de distribució espacial dels nivells ambientals de diòxid de nitrogen varien quantitativament entre anys, però morfològicament reproduïxen distribucions semblants en la rodalia del nucli urbà, i reflecteixen la influència interdependent del conjunt urbanístic (distribució de carrers i edificacions), el flux circulatori (principals focus emissors) i la meteorologia regnant (responsable dels processos dispersius), sobre el camp de concentracions ambient.

Les mesures automàtiques en el conjunt de la ciutat mostren una tendència decreixent en el període de cinc anys analitzat, que s'ajustaria a una reducció d'uns 3,5 µg/m³ per any (en una forqueta que individualment recorre el rang de -8,8 a -1,6 µg/m³, en tots els casos decreixents). Els valors automàtics de les estacions, amb cobertura anual, es van utilitzar per a corregir el biaix mostrat de les campanyes dosimètriques individuals per a ajustar-les a la mitjana anual.

Els mesuraments dosimètrics en el conjunt urbà, una vegada corregides al factor anual, també reflecteixen una tendència decreixent, que en conjunt de la centena d'emplaçaments es



quantificaria en una reducció mitjana d'1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{any}$, amb un ampli ventall en els nodes individuals, que assoliria mínims de -7,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{any}$, en tots els casos negatiu.

La distribució espacial de les tendències anuals de les concentracions de NO₂ mostren un patró ben definit, que qualitativament es correspon amb el de nivells mitjans i el de les corresponents tendències de la intensitat circulatòria, i que per als cinc anys analitzats resulten negatives en tot l'àmbit urbà considerat. Els mínims es localitzen així a l'entorn del nucli antic de la ciutat, on també se centren les concentracions més elevades i, si bé no les majors intensitats de trànsit, sí la zona en la qual es documenten els majors descensos relatius. Més enllà d'aquesta relació qualitativa, quantitativament la correspondència directa entre la tendència dels nivells d'immissió i la intensitat circulatòria es manifesta molt difusa, previsiblement fortament mediatitzada per la influència dispersiva de l'entorn circumdant.