



REIAL ACADÈMIA
DE FARMÀCIA
DE CATALUNYA



DISCURS

LLEGIT EN L'ACTE D'INGRÉS DE L'ACADÈMIC NUMERARI
EXCEL·LENTÍSSIM SR. DR. JOAN BECH RUSTULLET
CELEBRAT EL DIA 5 DE JUNY DE 2024

BARCELONA
2024

CONTESTACIÓ A CÀRREC DE L'ACADÈMIC NUMERARI
EXCEL·LENTÍSSIM SR. DR. ORIOL VALLS PLANELLS

**FACTORS ATMOSFÈRICS I QUALITAT DE
L'AIRE. IMPACTE DURANT EL CONFINA-
MENT PER LA COVID-19 A BARCELONA**

DISCURS

llegit a l'acte d'ingrés de l'Acadèmic Numerari
Excel·lentíssim Sr. Dr. Joan Bech Rustullet
Celebrat el dia 5 de juny de 2024

DISCURS DE CONTESTACIÓ

a càrrec de l'Acadèmic Numerari
Excel·lentíssim Sr. Dr. Oriol Valls Planells

Barcelona
2024

*L'Acadèmia no es fa solidària de
les opinions que s'exposen en les publicacions,
de les quals és responsable l'autor.*



Generalitat de Catalunya
Departament de Justícia

Amb la col·laboració del Departament de
Justícia de la Generalitat de Catalunya

Dipòsit legal: B-10792-2024
GAM DIGITAL

**Excel·lentíssim Senyor President
de la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya,
Excel·lentíssims i Il·lustres Senyores i Senyors Acadèmics,
Distingides autoritats acadèmiques i professionals,
Estimats familiars, amics i companys,
Senyores i Senyors,**

És per a mi un profund honor haver estat nomenat Membre Numèric de la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya, referent de les ciències, tecnologies i aplicacions farmacèutiques en tots els seus àmbits. L'any 2017 vaig incorporar-me com a Membre Corresponent a la Secció Primera, aleshores anomenada “Física, Química i Geologia” que, recentment, ha modificat lleugerament el seu nom per esdevenir “Química, Física i Ciències de la Terra”. Qualsevol de les dues denominacions deixen ben clar el caràcter transversal i multidisciplinari d'aquesta secció, als membres de la qual vull agrair la seva acollida i suport d'aquests anys, molt en particular, al seu President, el Dr. Oriol Valls Planells que ha acceptat honorar-me amb el Discurs de Contestació.

També vull expressar la il·lusió que em fa i el compromís renovat que implica l'acte d'avui, per tal d'intentar contribuir a la vida de l'Acadèmia –en particular atenent a la transversalitat de la Secció Primera–, des de la meua activitat de recerca i docència desenvolupada al Departament de Física Aplicada a la Universitat de Barcelona, activitat centrada en la física de l'atmosfera, que mirarem de posar al servei dels àmbits que siguin d'interès per l'Acadèmia.

Igualment, voldria agrair als professors, col·legues, i estudiants, amb tots els qui he tingut ocasió de col·laborar i aprendre al llarg dels anys, molt especialment als del Grup de Meteorologia del Departament de

Física Aplicada de la Universitat de Barcelona, treballant en temes de física de l'atmosfera. Entre els professors vull recordar Jeroni Lorente, Ángel Redaño, Bernat Codina i, especialment pel que fa a la relació entre meteorologia i contaminació atmosfèrica, Maria Rosa Soler, amb qui ara fa trenta anys vam treballar en propostes d'indicadors de qualitat de l'aire per l'aleshores Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. També vull agrair la Carme Llasat coordinadora del Grup de Meteorologia i Investigadora Principal a la Universitat de Barcelona del projecte europeu I-CHANGE, amb qui col·laborem analitzant la contaminació atmosfèrica a diverses escoles de la ciutat així com als companys del projecte PYRENEES4CLIMA del programa LIFE, dedicat entre diversos temes a l'impacte de situacions meteorològiques extremes sobre la contaminació atmosfèrica al Pirineu, Jesús Miguel Santamaría (Universidad de Navarra), Laura Traperó (Andorra Recerca+Innovació) i del nostre grup Yolanda Sola, Ileana Bladé, i molt especialment Mireia Udina. Finalment vull agrair també la col·laboració del nostre grup en els darrers anys amb en Miguel García, Joan Montolio i Clara Jaén, en treballs alguns resultats dels quals comentem a continuació.

Si l'any 2017 vam tractar el tema de la radiació solar ultraviolada, un dels eixos centrals del Grup Espanyol de Fotobiologia on participem des de fa anys, en aquesta ocasió ens centrem en un altre àmbit estretament lligat al medi físic que ens envolta i també a la salut pública, com és l'efecte dels factors atmosfèrics en la qualitat de l'aire, és a dir, en els nivells de contaminació atmosfèrica. Un cop introduïts aquests factors, s'il·lustrarà el seu efecte amb l'exemple de l'avaluació dels canvis de contaminació atmosfèrica durant la crisi de la COVID-19, concretament durant el primer període de confinament a l'àrea de Barcelona.

Contingut:

- Importància de la qualitat de l'aire
- Emissions, immissions i índexs de qualitat de l'aire
- Contaminants atmosfèrics primaris i secundaris
- Factors atmosfèrics rellevants en la qualitat de l'aire
- Qualitat de l'aire durant la COVID-19
- Dades d'immissió i observacions meteorològiques
- Tractament de dades meteorològiques
- Condicions meteorològiques durant la COVID-19 a Barcelona
 - Altura de la capa fronterera
 - Força del vent
 - Precipitació
- Qualitat de l'aire durant la COVID-19 a Barcelona
 - Comportament general
 - Cicles diaris de la qualitat de l'aire
 - Règims diferenciats de l'ozó
- Conclusions
- Referències

**FACTORS ATMOSFÈRICS I QUALITAT DE
L'AIRE. IMPACTE DURANT EL CONFINA-
MENT PER LA COVID-19 A BARCELONA**

Importància de la qualitat de l'aire

La contaminació atmosfèrica ha estat identificada com un dels principals riscos ambientals per a la salut humana. Gràcies a dècades d'estudis exhaustius, l'Organització Mundial de la Salut (OMS) ha conclòs que la millora de la qualitat de l'aire pot reduir la incidència de malalties cardiovasculars, en particular d'infarts, així com de càncer de pulmó i altres malalties respiratòries, cròniques i agudes, com ara l'asma, tant pel que fa a l'aire en el medi exterior com en espais interiors (WHO 2022). Aquí ens centrarem en la qualitat de l'aire en el medi exterior, sovint referida simplement com contaminació atmosfèrica, atenent al gran lligam que té amb les condicions meteorològiques.

La contaminació atmosfèrica és certament un problema global, ja que segons dades de l'any 2019, el 99% de la població mundial viu en zones que no verifiquen els valors recomanats per l'OMS. Aquest fet provoca més de 4 milions de morts prematures (WHO, 2022), majoritàriament en països en vies de desenvolupament al sud-est asiàtic i pacífic occidental. Encara que la situació és millor en països desenvolupats, es tracta igualment d'un problema molt rellevant. Per exemple, el Consell d'Europa, en línia amb l'OMS, afirma que la contaminació atmosfèrica és el problema ambiental més important que afecta la salut humana al nostre continent i que segons dades de l'any 2021, el 97% de la població europea està exposada a concentracions de partícules inferiors a 2,5 micres o PM2.5 superior a les recomanades per l'OMS.

Durant la crisi sanitària global causada pel virus SARS-CoV-2 (COVID-19), en particular durant les primeres fases, es van decretar períodes d'aïllament i confinament o tancament a molts països. A banda dels efectes sanitaris que van tenir aquestes mesures, un altre impacte molt rellevant va ser sobre la contaminació atmosfèrica. Poques vegades en la història recent hi ha hagut impactes comparables sobre el medi a causa de l'activitat (o millor dit, la inactivitat) humana, potser el més recent fou el causat per la suspensió de vols a Nord-Amèrica durant els tres dies posteriors als atacs del 11 de setembre de 2001. Aquest fet, encara que d'una durada i abast geogràfic molt inferior al de la COVID-19, va causar una disminució gairebé total de deixants

de condensació (en anglès “contrails”, expressió derivada de “condensation trails”) d’avions i els seus efectes radiatius, que van comportar canvis en la temperatura superficial reduint l’amplitud tèrmica (Travis et al 2002, 2004; Minnis et al 2003).

Emissions, immissions i índexs de qualitat de l’aire

Per descriure la qualitat de l’aire habitualment s’utilitzen dos tipus de variables pels diferents contaminants considerats: les emissions i les immissions. Les emissions són les quantitats de contaminants abocats a l’atmosfera, que per exemple es monitoritzen en certes instal·lacions industrials com les centrals tèrmiques o cimenteres, mentre que les immissions són les concentracions de l’aire mesurades a certa distància de les fonts emissores, representatives de l’aire que respirem.

Els valors d’immissions de cada contaminant, expressats habitualment en concentracions de micrograms per m³ ($\mu\text{g m}^{-3}$) per diversos períodes temporals (horaris, vuit-horaris, diaris o anuals), estan regulats per directives europees, reials decrets estatals i normativa específica autonòmica (Gencat 2019a), que s’actualitza periòdicament. Per exemple a finals de l’any 2022 l’OMS va publicar els valors recomanats d’immissions pels principals contaminants (WHO 2021), fet que ha provocat l’actualització de la normativa; a nivell europeu s’espera aprovar durant l’any 2024 una nova directiva recollint aquests canvis que implicaran un notable descens dels llindars recomanats com a saludables. Això implicarà que el que fins ara es considerava aire saludable deixarà de ser-ho i caldrà prendre mesures per a reduir la concentració de contaminants.

Des de fa anys les autoritats responsables de la qualitat de l’aire han usat diversos índexs per a traduir els valors d’immissions en informació comprensible per la població general, per exemple usant un nombre de 0 a 100 per indicar si la qualitat és bona o no i donant recomanacions per cada situació, com ara evitar fer exercici físic a l’aire lliure. Entre els exemples d’índexs històrics hi ha el PSI (Pollutant Standard Index, Thom & Ott, 1976) i altres desenvolupats i aplicats a nivell estatal o regional durant els anys 80 i 90 (Soler & Bech 1994, Van den Elshout et al 2008). Actualment s’utilitza àmpliament l’Air

Quality Index als EUA (Cheng et al 2007) o l'Índex de qualitat de l'aire de l'Agència Europea del Medi Ambient (European Environmental Agency, EEA 2023a,b).

Des de l'any 1995 a Catalunya s'usen dades de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA, Puig et al 1994), formada actualment per més de 70 estacions automàtiques i altres manuals (Figura 1), per elaborar l'Índex Català de Qualitat de l'Aire (ICQA). Aquest índex considera 6 nivells de qualitat identificats amb colors, que van de la qualitat “Bona” (color blau) a “Extremadament desfavorable” (color lila) – segons s'indica a la Taula 1. Els valors d'immissió amb que es calcula el ICQA van ser actualitzats l'any 2022.



Figura 1. Estació automàtica de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA) de la Generalitat de Catalunya (Gencat 2021).

Taula 1. Concentracions d'immissió pels vuit contaminants considerats associats als sis nivells de l'Índex Català de Qualitat de l'Aire (ICQA) identificats amb colors diferents (Gencat 2022).

Contaminants (base temporal de càlcul)		Nivell de ICQA (concentració en µg/m³, excepte pel CO que són en mg/m³)					
		Bona	Raonablement bona	Regular	Desfavorable	Molt desfavorable	Extremadament desfavorable
Diòxid de nitrogen (NO ₂)	1-hora	0-40	41-90	91-120	121-230	231-340	>340
Partícules en suspensió PM10	24-hores	0-20	21-40	41-50	51-100	101-150	>150
Partícules en suspensió PM2,5	24-hores	0-10	11-20	21-25	26-50	51-75	>75
Ozó troposfèric (O ₃)	8-horari	0-50	51-100	101-130	131-240	241-380	>380
Diòxid de sofre (SO ₂)	1-hora	0-100	101-200	201-350	351-500	501-750	>750
Monòxid de carboni (CO)	1-hora	0-2	3-5	6-10	11-20	21-50	>50
Benzè (C ₆ H ₆)	1-hora	0-5	6-10	11-20	21-50	51-100	>100
Sulfur d'hidrogen (H ₂ S)	1-hora	0-25	26-50	51-100	101-200	201-500	>500

Contaminants atmosfèrics primaris i secundaris

Una substància és considerada contaminant si no forma part de la composició atmosfèrica natural o hi està present en una concentració superior a la natural. Majoritàriament es tracta de substàncies resultants de l'activitat humana si bé també poden tenir origen natural, com ara les erupcions volcàniques o la pols en suspensió originada en tempestes de sorra. Per exemple, aquest darrer fenomen causa les invasions de pols sahariana que afecten periòdicament la costa oriental de la Península Ibèrica contribuint a augmentar la concentració de material particulat (Querol et al. 2009).

D'acord amb la normativa vigent, actualment es mesuren una quinzena de contaminants a Catalunya (Gencat 2019b), entre els quals destaquem el diòxid de sofre (SO₂), el diòxid de nitrogen (NO₂), l'ozó (O₃),

el sulfur d'hidrogen (H_2S), el monòxid de carboni (CO), el material particulat (PM), diversos metalls –níquel (Ni), cadmi (Cd), arsènic (As) i plom (Pb)–, el benzè (C_6H_6), el clor (Cl_2), el clorur d'hidrogen (HCl) i hidrocarburs aromàtics policíclics.

Els contaminants es classifiquen en dos tipus segons el seu origen: els contaminants primaris i els contaminants secundaris. Els contaminants primaris són aquells que procedeixen directament de les fonts d'emissió, sense patir transformacions. Les concentracions dels contaminants primaris estan lligades a les emissions i les condicions de dispersió i transport atmosfèriques. Exemples típics de contaminants primaris són el material particulat (PM) o el diòxid de nitrogen (NO_2).

Els contaminants secundaris són generats a l'atmosfera com a resultat de la transformació física i/o reaccions químiques de contaminants primaris preexistents, anomenats precursors, és a dir no són emesos directament per una font concreta. Les concentracions de contaminants secundaris dependran, a part de les condicions de dispersió i transport atmosfèriques, de la presència de precursors i de condicions favorables als processos físics i reaccions químiques que els generen. Un exemple clàssic de contaminant secundari és l'ozó (O_3). Per la seva incidència ens centrarem aquí en tres contaminants, dos dels quals són primaris i un secundari: el material particulat, el diòxid de nitrogen i l'ozó.

El material particulat està compost per partícules líquides o sòlides i es consideren diferents tipus segons el llindar de la seva mida com ara les partícules inferiors a $10 \mu m$ (partícules respirables, PM10), inferiors a $2.5 \mu m$ (partícules fines, PM2.5) o inferiors a $0.1 \mu m$ (partícules ultrafines, PM0.1). La seva mida és molt rellevant (Figura 2) ja que com més petites són més poden penetrar en el nostre organisme a través del sistema respiratori, podent afectar les vies respiratòries superiors (PM10), els alvèols pulmonars (PM2.5), o qualsevol part del cos (PM0.1) perquè poden ser transportades pel reg sanguini, de forma que se n'han trobat a òrgans com al cervell, el ronyó, el fetge o el cor (Oberdörster et al 2004, Peters et al 2006). El material particulat és originat per una gran varietat de fonts (Vicente et al 2014), com ara les combustions causades pel trànsit rodat així com pel desgast de frens i neumàtics, activitats de construcció, cimenteres, pedreres, combustions en calefaccions i indústries, activitats agrícoles i en focs forestals.

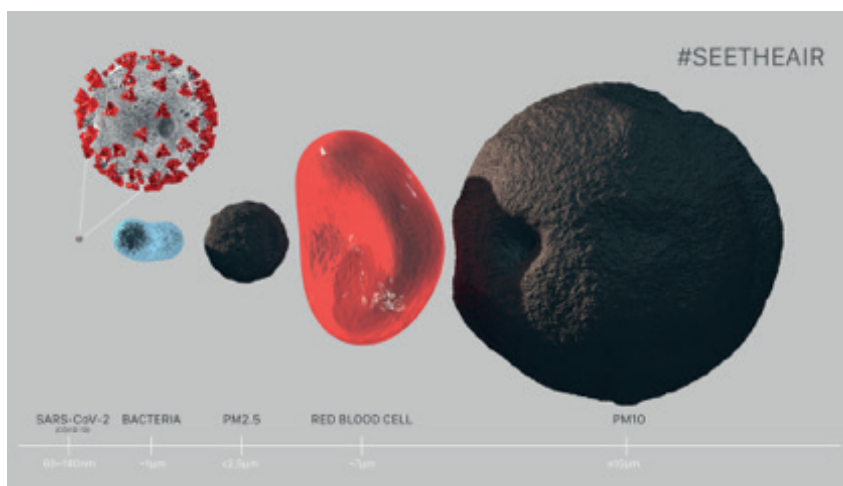


Figura 2. Comparació de la mida de partícules PM10, eritròcit, PM2.5, bactèria i virus SARS-CoV-2 (Papathanasiou 2020).

El diòxid de nitrogen és un gas amarronat, irritant i tòxic a altes concentracions. Té un paper rellevant en la boira fotoquímica, coneguda com a boirum. Aquest terme prové de la combinació dels mots boira i fum, i és la traducció del terme anglès smog (resultant de combinar *smoke* i *fog*). L'origen del NO_2 està lligat a les combustions associades al trànsit rodat (del qual és un gran indicador a les ciutats o prop de les vies de comunicació). També està associat a d'altres fonts estacionàries de combustió de carburants i un gran nombre d'indústries. En ocasions es consideren conjuntament el diòxid de nitrogen (NO_2) i el monòxid de nitrogen (NO), designant-se aleshores com NO_x tot i que el NO sovint s'oxida ràpidament de forma que predomina el NO_2 .

L'ozó és un gas incolor i olor agradable, molt oxidant. A la troposfera és considerat un contaminant pels seus efectes negatius sobre la salut humana i els vegetals. Cal recordar però que a l'estratosfera, entre uns 15 i 40 km d'altitud, s'hi troba de forma natural a l'ozonosfera o capa d'ozó. En aquesta capa és present en concentracions elevades i té un paper fonamental en el filtratge de la radiació solar ultraviolada fet que permet el desenvolupament de l'activitat biològica actual a la superfície terrestre. Per moltes aplicacions de física atmosfèrica s'utilitza la quantitat total d'ozó present a la columna atmosfèrica o

“columna total d’ozó” expressada en unitats Dobson (Osso et al 2011, Bech et al 2015). En canvi la concentració d’ozó troposfèric s’expressa en micrograms per metre cúbic, com la resta de contaminants.

L’ozó troposfèric és el resultat de reaccions fotoquímiques a partir dels seus precursors, principalment NO₂ primari i secundari i compostos orgànics volàtils (COVs), tant antropogènics com biogènics procedents de la vegetació. La radiació ultraviolada solar juga un paper fonamental en aquestes reaccions, de forma que a finals de primavera i estiu, quan la radiació solar i la temperatura són més elevades, és quan es produeixen els episodis de contaminació d’ozó més importants. Aquests episodis són un problema molt rellevant a diverses zones del món, entre les quals el sud d’Europa (Querol et al 2016). Segons la proporció relativa de NOx i VOCs disponibles es consideren dos règims de formació d’ozó per certs rangs de concentracions d’ozó. En zones rurals i periurbanes, on els VOCs són abundants, l’ozó s’incrementa si els NOx s’incrementen. En canvi, en zones urbanes on els NOx són dominants, l’ozó pot incrementar-se si els NOx decreixen (Sillman and He 2002).

Factors atmosfèrics rellevants en la qualitat de l’aire

La part baixa de la troposfera, aquella que està directament influïda per les condicions de la superfície terrestre, és coneguda com a capa límit planetària o capa fronterera atmosfèrica. De fet, la capa límit està present en qualsevol fluid prop d’una superfície, ja que és on les seves propietats es veuen modificades per la presència d’aquesta. Això implica un intercanvi de massa i moment lineal que es pot produir entre el fluid i la superfície segons la fricció i viscositat, mitjançant fenòmens de turbulència mecànica, tèrmica i cisallament. A la capa límit planetària els moviments verticals de l’aire poden ser importants segons les condicions d’estratificació, a diferència de la part superior de la troposfera, coneguda com atmosfera lliure, on hi predominen els moviments horitzontals. Les propietats de la capa fronterera atmosfèrica condicionen en gran mesura la concentració dels contaminants i la qualitat de l’aire.

Diversos factors controlen la dispersió i transport dels contaminants a la capa fronterera entre els quals podem incloure el caràcter d’estratificació atmosfèric, el gruix o altura de la capa fronterera, la força del vent

i la presència de precipitació. A continuació es descriu de forma breu i simplificada el seu impacte sobre la concentració de contaminants.

El caràcter d'estratificació ve donat pel perfil vertical de temperatura de l'aire. Per tal de classificar el caràcter d'estratificació, pel cas simple d'un estrat d'aire sec, s'utilitza un descens vertical de la temperatura de 9.8 K/km, valor conegut com a gradient adiabàtic sec. Si l'estrat té un descens superior aleshores és inestable i s'afavoreixen els moviments verticals i, per tant, s'afavorirà la dispersió de contaminants dins l'estrat. Si, en canvi, el descens de temperatura és inferior aleshores l'estrat és estable i s'hi inhibiran els moviments verticals. El cas extrem d'estrat estable, conegut com inversió tèrmica, és aquell on la temperatura augmenta amb l'altura i representa la situació més desfavorable per a la dispersió de contaminants dins de l'estrat. En cas que el descens de temperatura coincideixi amb 9.8 K/km aleshores l'estratificació es coneix com indiferent i implica una situació en que la dispersió serà limitada.

L'altura de la capa fronterera típicament varia entre un centenar de metres i uns 3 km, i sol evolucionar al llarg d'un dia influïda per factors com el cicle diürn de la radiació solar en absència de canvis de massa d'aire o nuvolositat abundant. A major altura de la capa fronterera, major volum disponible pels contaminants existents de forma que, mantenint la resta de variables fixes, un increment de l'altura implica una disminució de la concentració de contaminants.

El vent a la capa límit també influeix en gran mesura en la dispersió dels contaminants. El moviment de l'aire contribueix al transport i barreja turbulenta dels contaminants en un volum major, de forma que a major força del vent, menor concentració de contaminants.

Finalment, la precipitació també és un factor important a considerar en relació a la qualitat de l'aire. La seva presència té efecte de rentat atmosfèric, contribuint a la deposició humida dels contaminants, de forma que, mantenint la resta de variables fixes, també contribuirà a la millora de la qualitat de l'aire.

Malgrat que aquí es presenten aquests factors meteorològics de forma resumida i simplificada, a la pràctica operen conjuntament (Elminir

2005, Ćurić et al 2022). Això significa que poden aparèixer interaccions entre els factors, complicant la seva descripció i interpretació mitjançant les eines habituals modelització numèrica acoblant models meteorològics i fotoquímics (Udina et al 2020, Jaén et al 2021).

Qualitat de l'aire durant la COVID-19

Durant la pandèmia de COVID-19, especialment a l'etapa inicial de la primavera de 2020, es van decretar a molts països mesures sanitàries de tancament (lockdown) per a reduir els contagis. Aquesta situació va comportar una reducció o aturada de l'activitat econòmica, industrial i del transport rodat, provocant un dràstic descens de les emissions de contaminants arreu del món (Chauhan & Singh 2020, Venter et al 2020). Per exemple, alguns estudis centrats en els primers quinze dies de tancament a Barcelona basats en dades d'immissions van indicar reduccions del 51% de NO_2 i 30% de PM_{10} en relació als mesos anteriors (Tobías et al 2020), o una reducció del 50% del NO_2 durant el mes de març de 2020 (Baldasano 2020). Un altre estudi basat en observacions del satèl·lit europeu Sentinel-5P obtingudes amb l'espectròmetre TROPOMI va observar descensos molt notables de la concentració en la columna atmosfèrica del NO_2 a la Península Ibèrica, descensos ben correlacionats amb la densitat de població espanyola (Mesas-Carrascosa et al 2020).

La majoria de treballs publicats sobre la qualitat de l'aire durant els confinaments mostraven descensos de les concentracions de contaminants respecte un cert període de referència. No obstant, majoritàriament, aquests estudis no tenien en compte les possibles diferències entre els factors meteorològics durant els períodes comparats. Això podia implicar que el descens de contaminants observat durant el període de la COVID-19 fos causat no tan sols per una reducció d'emissions sinó també per unes condicions meteorològiques més favorables a una millor qualitat de l'aire o, alternativament, que unes condicions menys favorables haguessin emmascarat un descens de la contaminació superior a l'observat.

Dos exemples de treballs que sí tenien en compte els factors meteorològics en els canvis del nivell de contaminació són un dut a terme al Barcelona Super-Computing Center (Petetin et al 2020) i un altre a

la Universitat de Barcelona (García-Dalmau et al 2022). En el primer, aplicat a tota Espanya, s'usaven dades de la reanàlisi meteorològica ERA5 i tècniques d'intel·ligència artificial, mentre que el segon, resumit a continuació, es focalitzava a Barcelona i Catalunya i usava dades de sondatge, ceilòmetre i estacions automàtiques per examinar factors meteorològics explícitament.

Dades d'immissió i observacions meteorològiques

La zona d'estudi considerada és l'àrea de Barcelona i Catalunya, contemplant tres estacions d'immissió de la XVPCA representatives de zones urbanes amb trànsit (Eixample de Barcelona), urbanes de fons (Palau Reial de Barcelona) i suburbana de fons (Vic, coneguda com Vic Estadi). Les dades meteorològiques procedeixen de tres fonts: un ceilòmetre model Vaisala CL-31, part de l'observatori meteorològic de la Universitat de Barcelona (Figura 3 i Figura 4), l'estació de radiosondatge del Servei Meteorològic de Catalunya (Figura 5), tots tres ubicats a la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona i, en tercer lloc, observacions de vent i precipitació de l'Observatori Fabra, situat a 411 m d'altitud i propietat de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona. La Figura 6 mostra la ubicació de les estacions usades.

Per a realitzar la comparativa es van considerar dos períodes temporals diferents: un primer període pre-tancament ("pre-lockdown", en endavant PLD), del 14 de març al 30 d'abril dels quatre anys anteriors a la pandèmia (2016 al 2019); i un segon període, del 14 de març al 30 d'abril de 2020, cobrint el primer tancament de la pandèmia ("during lockdown", en endavant DLD). El període PLD de 4 anys ve donat per la disponibilitat de dades del ceilòmetre. Addicionalment, es va considerar un període de 10 anys, de 2010 a 2019, per a obtenir el comportament mitjà de les estacions d'immissió.



Figura 3. Ceilòmetre Vaisala CL-31 instal·lat a la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona (Font: J. Bech).



Figura 4. Estació meteorològica automàtica de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona (Font: J. Bech).



Figura 5. Estació de radiosondatge del Servei Meteorològic de Catalunya, instal·lada a la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona (Font: J. Bech).

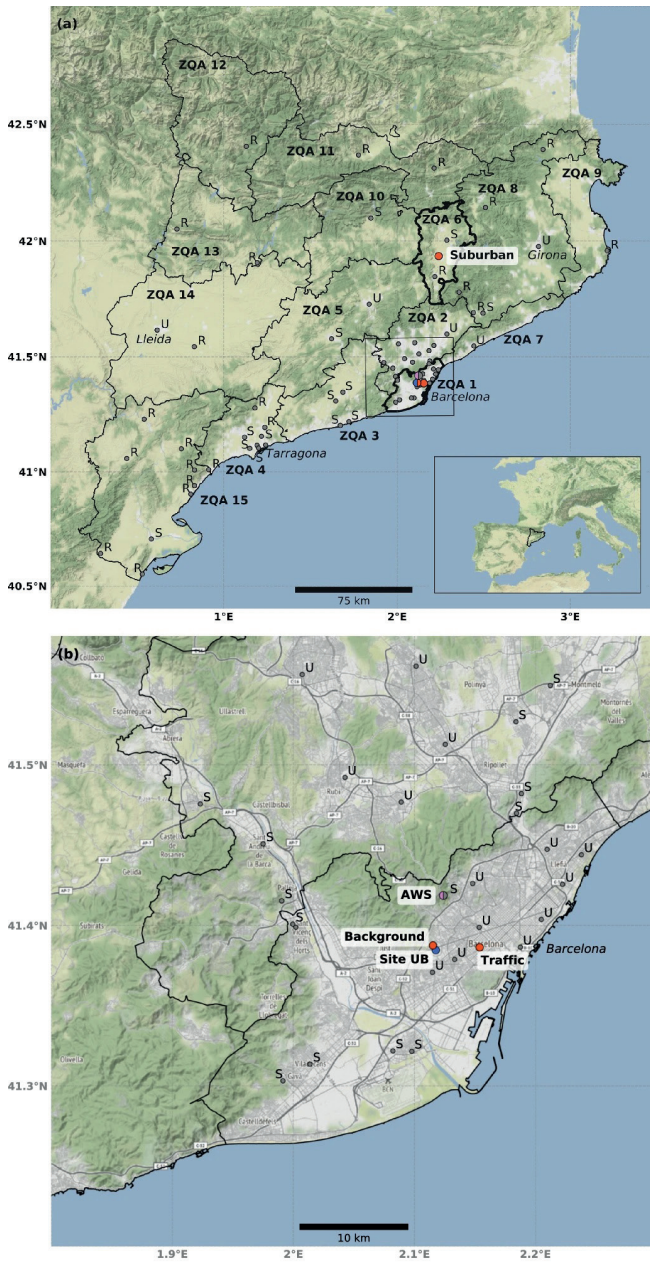


Figura 6. Zona d'estudi mostrant Catalunya (a) i Barcelona (b) i les estacions de la XVPCA de Vic (“Suburban”), Barcelona Eixample (“Traffic”), Barcelona Palau Reial (“Background”), l’Observatori Fabra (AWS) i l’Observatori de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona (“Site UB”).

Tractament de dades meteorològiques

Es va calcular l'altura de la capa fronterera, exclouent els dies amb precipitació, mitjançant dos mètodes. El primer es basa en dades del sondatge (en endavant RAOB) on es calculen gradients verticals de diverses variables segons descriu Wang & Wang (2014), incloent la temperatura potencial, humitat específica, humitat relativa i refractivitat, calculada usant la pressió atmosfèrica, humitat i temperatura (Bech et al 2003). El segon mètode (en endavant CEIL) es deriva de les observacions del ceilòmetre Vaisala, instrument de teledetecció activa que mitjançant un lidar calcula la base dels núvols i també l'altura de la capa fronterera mitjançant la metodologia coneguda com Enhanced Gradient Method, implementada al programari BL-VIEW (Vaisala 2020). En moments de precipitació les dades del ceilòmetre no permeten obtenir observacions fiables, motiu pel qual es van excloure els dies amb pluja d'aquest estudi. Cal esperar diferències entre els dos mètodes ja que les metodologies i els principis de funcionament dels equips són diferents. A banda, cal destacar que hi ha dos sondatges disponibles diàriament mentre que el ceilòmetre funciona en continu.

Per tenir en compte la dispersió causada pel vent es van usar dades de dues fonts. Primerament l'anemòmetre de l'Observatori Fabra, com a valor de referència donada la seva altitud. En segon lloc, mesures de vent del radiosondatge, calculats dinàmicament per 4 nivells representatius proporcionals a l'altura de la capa fronterera calculada segons el mètode RAOB. Concretament es va considerar el 25%, 50%, 75% i 100% de l'altura (designats respectivament com VV1, VV2, VV3 i VV4).

Finalment, per a tenir en compte l'efecte de la deposició humida, es va considerar la precipitació observada a l'Observatori Fabra. Aquest observatori és un dels pocs a nivell mundial que disposa d'una sèrie de més de 100 anys cosa que permet posar en una perspectiva més àmplia els valors obtinguts que usant dades d'estacions amb sèries més curtes.

Condicions Meteorològiques durant la COVID-19 a Barcelona

Altura de la capa fronterera

És sabut que la determinació de l'altura de la capa fronterera per mètodes diversos pot donar lloc a discrepàncies, tenint present que cada metodologia té les seves limitacions (Siebert et al 2000). Per aquest motiu, a l'hora de comparar les estadístiques d'altures obtingudes entre el període de referència i l'any 2020, no és tan important la diferència entre els dos mètodes com la diferència entre els dos períodes. Per exemple, segons el mètode basat en el sondatge (RAOB) les medianes dels dos períodes van ser de 1120 i 1140 m respectivament, mentre que pel mètode basat en el ceilòmetre (CEIL) van ser 830 i 920 m (Figura 7), amb la qual cosa les diferències relatives van ser d'un 2% i un 11%; les diferències entre les desviacions estàndard dels dos mètodes van ser la mateixa (20 m). A banda de les medianes i desviacions estàndard, examinant les distribucions dels dos conjunts de dades no s'aprecien diferències substancials, especialment pel cas de les estimacions basades en el sondatge.

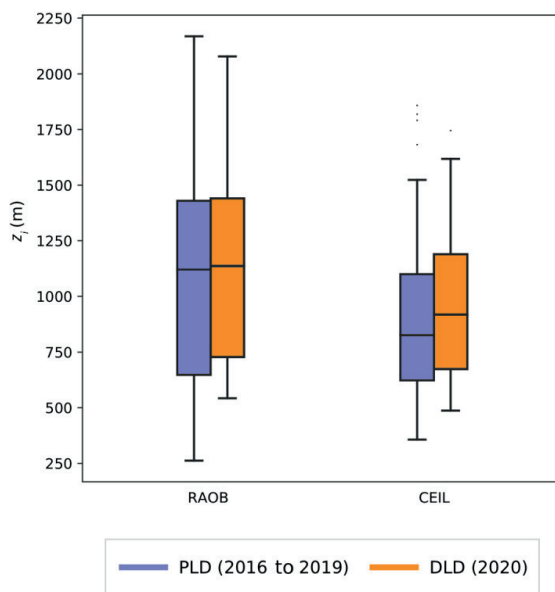


Figura 7. Diagrames de caixes d'altura de la capa fronterera z_1 durant el període de referència previ al tancament (PLD) i durant el tancament (DLD) pels mètodes basats en el sondatge (RAOB) i el ceilòmetre (CEIL).

Les estimacions basades en el ceilòmetre (CEIL), al tenir una resolució temporal de 10 min, permeten reconstruir el cicle diari mitjà del període de referència (PLD) i el de confinament (DLD). Tal com és habitual, aquest cicle presenta una variació amb un mínim a mitjanit i un màxim a migdia, influït pel cicle d'irradiància solar d'un dia sense núvols (Figura 8). El patró dels cicles diaris dels dos períodes és el mateix, si bé hi ha una lleugera tendència a valors superiors pel període del 2020 tal com suggeria la diferència de les medianes. En resum, les altures de la capa fronterera van ser similars durant els dos períodes.

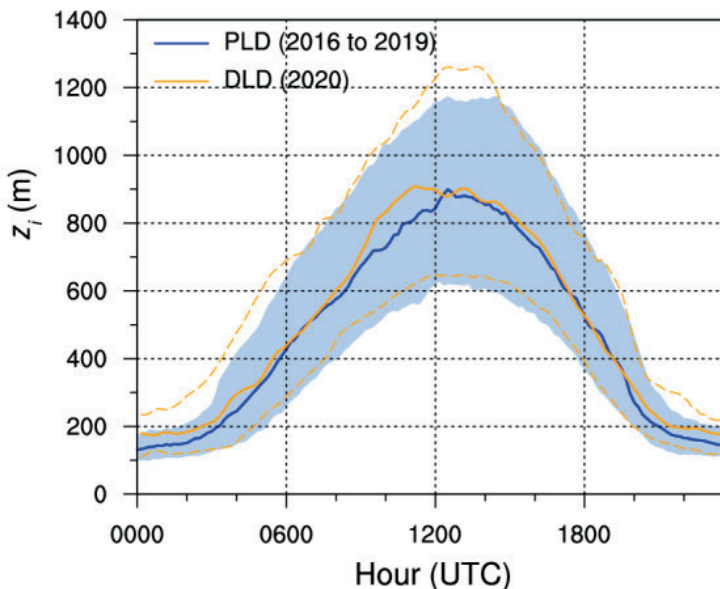


Figura 8. Cicle diari de l'altura de la capa fronterera z_i durant el període de referència previ al tancament (PLD) i durant el tancament (DLD) obtingut amb dades del ceilòmetre (CEIL), mostrant les línies gruixudes les medianes dels dos períodes i les discontinües i zona ombrada els límits entre el primer i tercer quartil del DLD i PLD respectivament.

Força del vent

El vent registrat a l'Observatori Fabra, tant la força del vent mitjana i la desviació estàndard va ser gairebé la mateixa en els dos períodes DLD i PLD: 4,2 i 4,3 m/s i 2,3 i 2,4 m/s, respectivament; les distribucions també van ser molt semblants (Figura 9). La força del vent als diferents nivells de la capa fronterera (VV1 a VV4) van presentar

algunes diferències: lleugerament inferiors a les dues primeres altures i una mica superiors a les dues posteriors (globalment diferències inferiors a 0.2 m/s), de forma que el comportament global tendia a compensar-se i ser molt similar en el PLD i el DLD. Per tot plegat, es pot considerar que el comportament de la força del vent durant l'any 2020 fou similar al període de referència.

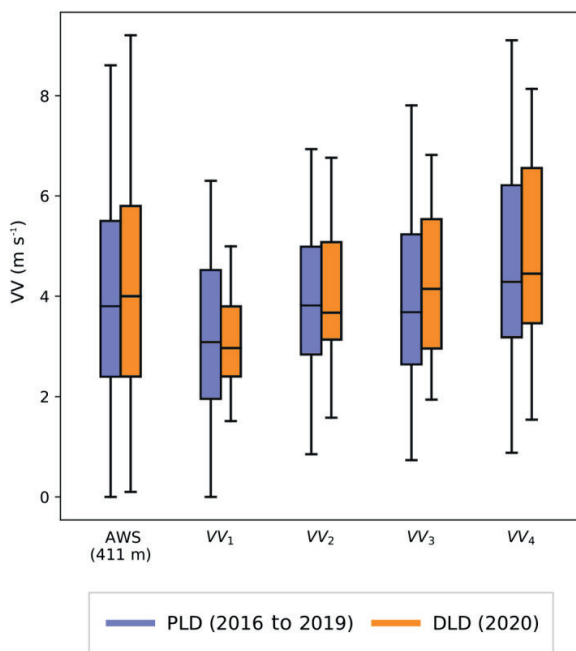


Figura 9. Diagrames de caixes del mòdul del vent (VV) observat durant el període de referència previ al tancament (PLD) i durant el tancament (DLD) a l'Observatori Fabra (AWS), i als 4 nivells representatius de la capa fronterera (VV1, VV2, VV3 i VV4).

Precipitació

Per a comparar la precipitació observada a l'Observatori Fabra durant els dos períodes es consideren cinc variables, amitjanades segons el nombre d'anys considerats al període de referència. Les variables són la precipitació total, la ràtio de dies de pluja en relació als dies totals, la ràtio de semihores de pluja respecte les semihores totals, la pluja diària mitjana i la pluja diària mitjana per dia de pluja (Taula 2). Inicialment es va plantejar comparar únicament la pluja total del període però es va constatar que durant el confinament hi havia una anomalia important ja

que el 2022 va ser l'abril més plujós observat a l'Observatori Fabra en els 107 anys anteriors de dades (SMC 2020): 313 mm comparats amb 118 mm del període de referència. Això podia suposar unes condicions de rentat atmosfèric molt superiors a les habituals. No obstant, analitzant les ràtios de pluja respecte els totals s'aprecia que els valors són molt similars (0.33 i 0.34) si bé la quantitat de pluja caiguda per dia o el nombre de semihores de pluja segueix essent superior pel 2020. Per tant, si bé la quantitat de pluja total va ser gairebé el triple durant el 2020, el nombre de dies de pluja no, fet que pot haver mitigat la capacitat de rentat per deposició humida i fer els dos períodes més comparables del que inicialment podia semblar. Els processos de rentat de contaminants per pluja (precipitation scavenging) són actualment un tema de recerca important, tenint present la dificultat d'establir relacions lineals entre el rentat i la intensitat de precipitació i altres factors combinats com pot ser el vent (Loosmore & Cederwall 2004, Luan et al 2019).

Taula 2. Resum de dades de pluja on la pluja total es refereix al període des del 14 de març al 30 d'abril tant pel període de referència previ al tancament (PLD, 471 mm en 4 anys corresponents a 118 mm) com al del tancament (DLD).

Període	Ràtio de dies de pluja	Ràtio de semi-hores de pluja	Pluja total	Pluja / Dia	Pluja / Dies de pluja
	(Dies de pluja / Dies totals)	(semi-hores de pluja / semi-hores totals)	(mm)	(mm dia ⁻¹)	(mm dia ⁻¹)
PLD (2016–2019)	0.33 (63/192)	0.05 (485/9216)	118	2.5	7.5
DLD (2020)	0.34 (18/48)	0.11 (263/2305)	313	6.5	17.4

Qualitat de l'aire durant la COVID-19 a Barcelona

Comportament general

L'avaluació de la qualitat de l'aire per un període donat, com el del primer confinament, es fa examinant les sèries temporals d'immissions dels diferents llinars regulats (valors horaris, vull-horaris o diaris) i fent l'anàlisi estadística corresponent. Per exemple, la concentració mitjana diària de NO_2 a l'estació de Barcelona Eixample durant el DLD (14 de març a 30 d'abril de 2020) fou de $19 \mu\text{g m}^{-3}$ enfront dels $57 \mu\text{g m}^{-3}$ del període de referència PLD (igual període però dels deu anys anteriors) fet que implica una reducció del 66%. (Taula 3) Prenent la concentració horària màxima del PLD també s'observa una dràstica reducció (Figura 10) amb valors majoritàriament per sota de $50 \mu\text{g m}^{-3}$, aproximadament per sota del primer quartil observat durant el període de referència. A més, durant el 2020, les concentracions màximes horàries, a diferència del període de referència, van ser molt allunyades del llinar de $200 \mu\text{g m}^{-3}$ recomanat aleshores l'OMS, però just per sota de la recomanació actual de $45 \mu\text{g m}^{-3}$ (WHO 2022).

La concentració de PM_{10} també va experimentar un descens important respecte el període de referència (amb medianes per sota de les del PLD). No obstant, la baixada no fou tan notable com pel NO_2 , assolint un -37% a l'estació urbana de trànsit, descens superior al de l'estació de fons urbà (-31%).

En canvi, el comportament de O_3 a l'estació urbana de trànsit fou diferent. La mediana de concentració 8-horària màxima en un dia va superar pràcticament durant tots els dies del confinament la mediana del període de referència (increment del 23%) situant-se per sobre del tercer quartil del PLD. De fet, l'increment observat va comportar superar diversos dies (més que durant el període de referència), el llinar recomanat per l'OMS de $100 \mu\text{g m}^{-3}$. A l'estació de fons urbana el PM_{10} també va augmentar, però menys (+11%).

Taula 3. Valors d'immissió i diferències relatives (RDiff) entre el període de referència (PLD, anys 2010 al 2019) i el període de confinament (DLD, 14 de març al 30 d'abril de 2020), essent $RDiff = (PLD - DLD) / PLD * 100$, pel NO_2 (mitjana diària i valor màxim horari en 24h), PM_{10} (mitjana diària) i O_3 (valor màxim en 8h) a les estacions de Barcelona Eixample (representativa de trànsit urbà) i Barcelona Palau Reial (representativa de fons urbà).

	Barcelona Eixample (Trànsit)			Barcelona Palau Reial (Fons)		
	PLD ($\mu\text{g m}^{-3}$)	DLD ($\mu\text{g m}^{-3}$)	RDiff (%)	PLD ($\mu\text{g m}^{-3}$)	DLD ($\mu\text{g m}^{-3}$)	RDiff (%)
NO_2 mitjana diària	57	19	-66	34	13	-62
NO_2 màx 1h en 24h	98	42	-57	79	32	-60
PM_{10} mit- jana diària	28	18	-37	20	14	-31
O_3 màx 8-h	67	83	+23	85	94	+11

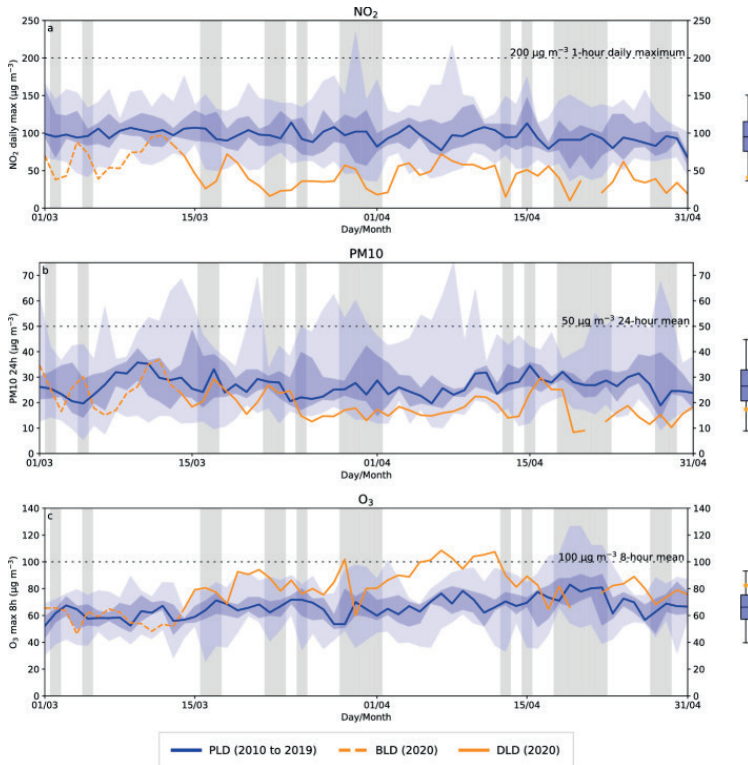


Figura 10. Evolució dels nivells d'immissió de NO_2 màxim horari diari (a), PM_{10} diari (b) i O_3 8-horari a l'estació de Barcelona Eixample (representativa del trànsit). Les línies taronges mostren valors del 2020: els 13 dies abans del tancament (BLD) i durant el tancament (DLD); les línies blaves la mediana del període de referència de 10 anys i en dos nivells d'ombregjat els valors entre el primer i tercer quartil i entre el mínim i màxim absolut i les franges grises els dies de pluja de l'any 2020.

Cicles diaris de la qualitat de l'aire

NO_2

Les concentracions d'alguns contaminants primaris presenten cicles diaris característics que, a més, poden variar entre els dies laborables (de dilluns a divendres) i els caps de setmana. Això és reflex d'un marcat cicle d'emissions, tant diari com setmanal, essent un dels casos paradigmàtics el del NO_2 en zones urbanes. Per exemple, a l'estació de Barcelona Eixample durant el període de referència de 2010 a 2019 s'aprecia clarament un cicle diari en els dies laborables amb un mínim a la matinada, entre les 00h i les 03h hora local, un ràpid creixement que porta al màxim diari entre les 08h i les 09h coincidint

amb els desplaçaments previs a l'inici de l'activitat diària, un segon mínim entre les 14h i les 15h, i un segon màxim relatiu entre les 18h i les 20h, coincidint amb desplaçaments associats al final de la jornada laboral. Aquests patrons són similars, però menys marcats a les estacions urbanes de fons, com Barcelona Palau Reial (Figura 11). Els caps de setmana els valors són sensiblement inferiors i el patró anterior queda molt suavitzat, desapareixent pràcticament el primer màxim matinal i mantenint-se el segon màxim secundari, influït sobretot per les operacions tornada dels cap de setmana.

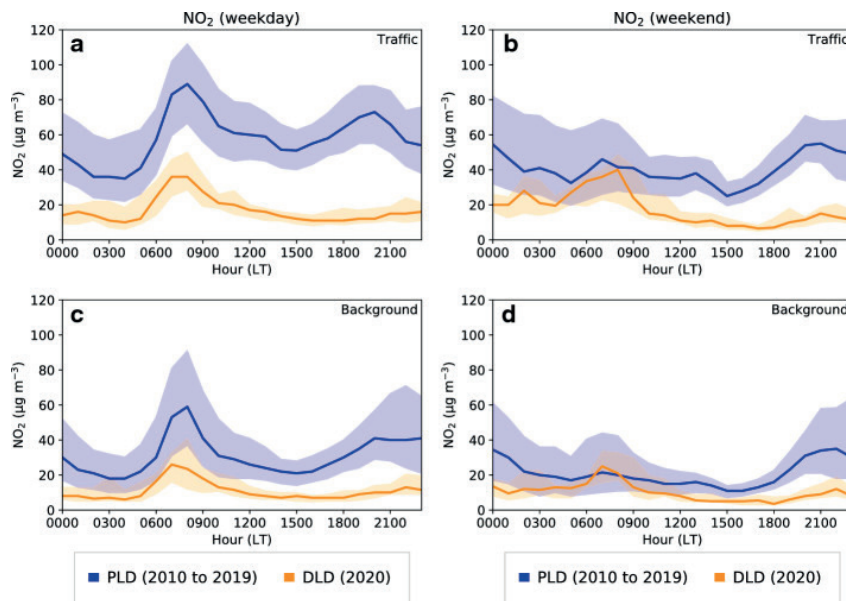


Figura 11. Cicle diari dels nivells d'immissió de NO_2 a l'estació de Barcelona Eixample (fila superior, "Traffic") i Barcelona Palau Reial (fila inferior, "Background") distingint els dies laborables (columna esquerra) i el cap de setmana (columna dreta). Es mostra la mediana i rang entre el primer i tercer quartil del període de referència (en blau, 2010 a 2019) i durant el tancament (en taronja, DLD).

Durant el confinament, aquests patrons es van alterar tant quantitativament com qualitativament durant els dies laborables i també els caps de setmana. Des d'un punt de vista quantitatiu els valors globals van descendir, fins al punt que les medians horàries de NO_2 a Barcelona Eixample durant els dies laborables del confinament van quedar sistemàticament per sota del primer quartil del període de referència

(efecte una mica menys marcat a Barcelona Palau Reial). Durant els caps de setmana l'efecte també fou notable, si bé inferior, tenint en compte que els valors del període de referència ja eren més baixos de partida. De fet, el patró resultant del confinament pràcticament era idèntic entre dies laborables i cap de setmana, de forma que es va eliminar aquest comportament diferenciat habitual del NO_2 segons el dia de la setmana considerat.

PM10

Pel que fa al comportament dels PM10 en zones urbanes cal dir que també mostren habitualment patrons horaris influïts per la circulació, per tant, igualment diferenciats entre dies laborables i caps de setmana (Figura 12). Els canvis observats entre els períodes de referència i el confinament foren notables, especialment entre setmana, quedant les medianes sistemàticament per sota de les de referència i eliminant-se novament la diferenciació entre dies laborables i caps de setmana.

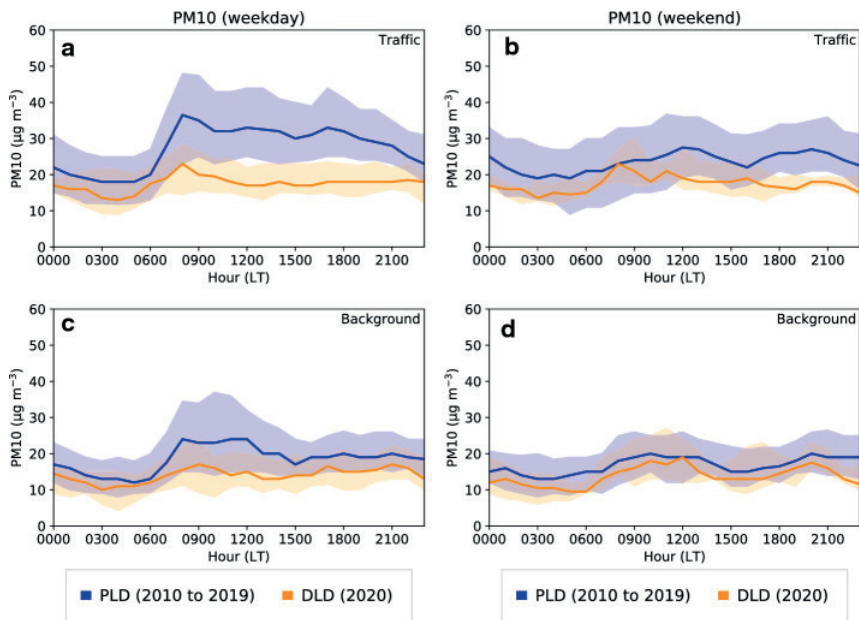


Figura 12. Figura anàloga a la Figura 11, però pel PM10.

O_3

Finalment, respecte el cicle diari i setmanal de l' O_3 que recordem és un contaminant secundari, cal indicar que és completament diferent dels dos casos anteriors. En general és més complex ja que no està lligat als cicles d'emissions, ni tan sols al cicle d'emissions dels precursors. D'una banda presenta un mínim absolut cap a les 07 hora local, coincidint aproximadament amb la sortida del sol a l'època de l'any considerada, moment a partir del qual la concentració augmenta fins assolir el màxim absolut cap a les 15h. Més tard, va disminuint fins establitzar-se cap a mitjanit per a reduir-se de nou per assolir el mínim absolut esmentat abans (Figura 13). Si bé hi ha algunes diferències entre dies laborables i caps de setmana, no són tan marcades com pel NO_2 i les PM_{10} . Els patrons descrits estan influïts per la disponibilitat de precursors i el seu transport i per la radiació ultraviolada solar i temperatura elevada que contribueixen a les reaccions fotoquímiques que generen l' O_3 , motiu pel qual el màxim absolut es dona típicament poques hores després del migdia.

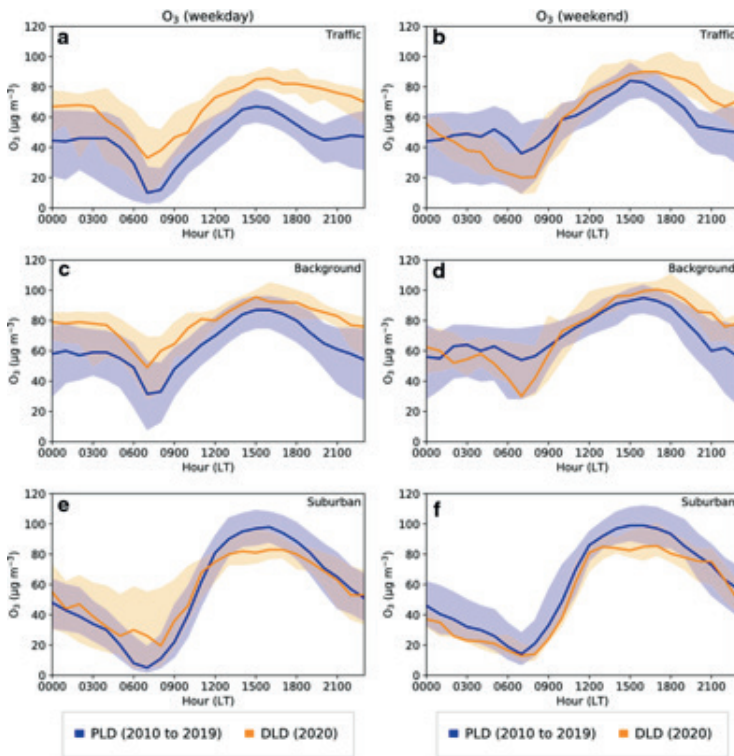


Figura 13. Figura anàloga a la Figura 11, però per l' O_3 i considerant addicionalment dades de l'estació de Vic ("Suburban").

Com s'ha esmentat abans, l'O₃ presenta dos règims diferenciats segons es consideri una zona urbana o suburbana pel que fa a la relació amb els precursors NO₂ i VOCs. Aquest punt és essencial per a interpretar els canvis dels cicles horaris i setmanals en zones urbanes i suburbanes durant el confinament. A les zones urbanes, en dies laborables es va produir un ascens global d'O₃, quedant la mediana sistemàticament per sobre del període de referència; en cap de setmana el canvi no fou tan clar ja que es van accentuar els extrems, amb màxims i mínims amb valors absoluts superiors al període de referència (Figura 13). En canvi, a l'estació suburbana de Vic, els valors generalment van descendir i la modificació del cicle diari de dies laborables fou la contrària als caps de setmana en zona urbana, ja que es van suavitzar els extrems, donant lloc a màxims i mínims amb valors absoluts inferiors als del període de referència. Pels caps de setmana, el descens va ser generalitzat quedant la mediana pràcticament sempre per sota de la mediana del període de referència (el contrari dels dies laborables en zones urbanes). L'ascens d'ozó durant la el confinament va ser observat a diverses ciutats d'Europa i la Xina (Sicard et al 2020).

Règims diferenciats de l'ozó

Aquest comportament diferenciat de les zones urbanes i la suburbana de Vic no va ser un cas aïllat. Es van examinar les diferències relatives de concentracions mitjanes d'O₃ entre el període de tancament i el de referència i es va apreciar el mateix comportament anteriorment descrit de forma generalitzada (Figura 14). Avaluant el mapa de diferències relatives es pot constatar que a les zones urbanes o afectades habitualment per valors elevats de NO₂, on aquest va descendir durant el confinament, es va experimentar un ascens d'O₃, en alguns casos superior al 15%, mentre que a les zones suburbanes la situació fou la contrària.

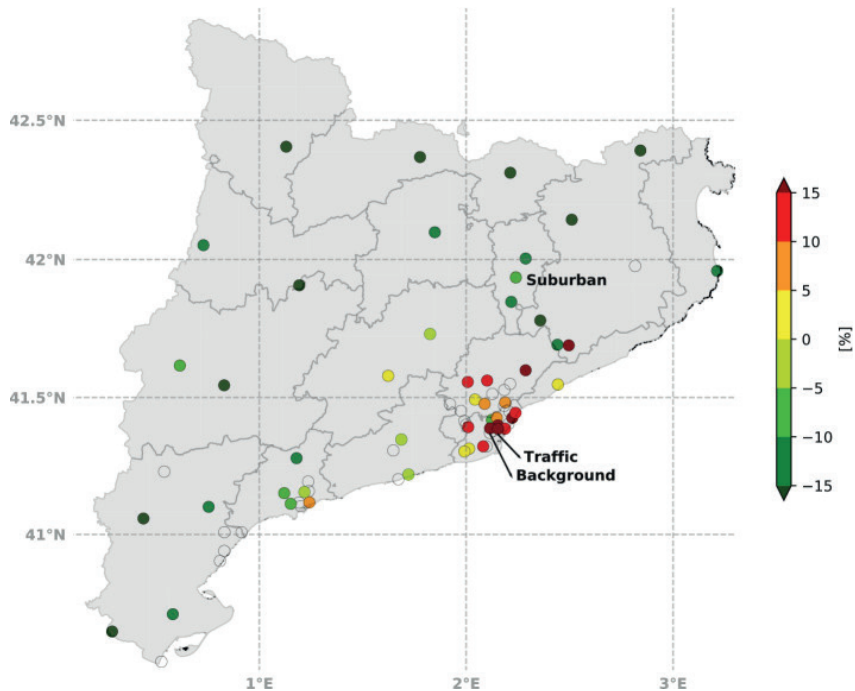


Figura 14. Diferències relatives de concentració mitjana d'O₃ durant els període de referència dels anys 2010 a 2019 (PLD) i el període de tancament del 2020 (DLD), calculat segons $(O_{3_DLD} - O_{3_PLD}) / (O_{3_PLD}) * 100$, de forma que els valors positius (colors càlids) indiquen increments i els negatius (color verd) descensos. Els cercles mostren la posició de les estacions de la XVPCA on es mesura O₃, indicant explícitament la posició de les estacions de Vic ("Suburban"), Barcelona Eixample ("Traffic") i Barcelona Palau Reial ("Background").

Conclusions

Actualment es considera la contaminació atmosfèrica com un dels principals problemes ambientals que afecten directament la salut, tant a nivell global com a gran nombre de poblacions i ciutats de països desenvolupats. Malgrat els avenços en les darreres dècades amb un descens notable dels nivells d'immissió de molts contaminants (Chen et al 2024), els estudis dels seus efectes sobre la salut introdueixen a la normativa llindars cada vegada més baixos de concentració considerats saludables. Aquest fet pot portar a l'aparent paradoxa de que concentracions més baixes actuals puguin catalogar-se com a situacions amb pitjor qualitat de l'aire segons els criteris de fa uns anys.

En qualsevol cas, la implementació de les noves recomanacions de l'OMS del 2021 que comporten aquests nous valors límit més baixos implicaran un gran repte en molts àmbits (Bowdalo et al 2024).

Com hem vist, els factors meteorològics juguen un paper fonamental en la qualitat de l'aire. Pel cas concret del primer confinament de la COVID-19 a Barcelona, on per exemple vam viure un rècord històric de precipitació mensual, ha quedat patent que calia examinar-los en detall per a poder valorar adequadament els canvis produïts en la concentració dels contaminants. Tot i tenint en compte aquestes circumstàncies, la COVID-19 ens va permetre experimentar temporalment unes condicions privilegiades d'emissions que pocs haurien imaginat i que han de servir com a base per a accions futures per a la necessària millora de la qualitat de l'aire (Badia et al 2021, Seibert et al 2021, Castillo et al 2022).

Referències

- Badia, A., Langemeyer, J., Codina, X., Gilabert, J., Guilera, N., Vidal, V., ... & Villalba, G. (2021). A take-home message from COVID-19 on urban air pollution reduction through mobility limitations and teleworking. *Npj Urban Sustainability*, 1(1), 35.
- Baldasano, J. M. (2020). COVID-19 lockdown effects on air quality by NO₂ in the cities of Barcelona and Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 741, 140353.
- Bech, J., Codina, B., Lorente, J., & Bebbington, D. (2003). The sensitivity of single polarization weather radar beam blockage correction to variability in the vertical refractivity gradient. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20(6), 845-855.
- Bech, J., Sola, Y., Ossó, A., & Lorente, J. (2015). Analysis of 14 years of broadband ground-based solar UV index observations in Barcelona. *International Journal of Climatology*, 35(1), 45-56.
- Bowdalo, D., Petetin, H., Jorba, O., Guevara, M., Soret, A., Bojovic, D., ... & Pérez García-Pando, C. (2022). Compliance with 2021 WHO air quality guidelines across Europe will require radical measures. *Environ. Res. Lett.*, 17(021002), 10-1088.
- Castillo, C., Viu-Roig, M., & Alvarez-Palau, E. J. (2022). CO-

- VID-19 lockdown as an opportunity to rethink urban freight distribution: Lessons from the Barcelona metropolitan area. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 14, 100605.
- Chauhan, A., & Singh, R. P. (2020). Decline in PM_{2.5} concentrations over major cities around the world associated with COVID-19. *Environmental research*, 187, 109634.
 - Chen, Z. Y., Petetin, H., Méndez Turrubiates, R. F., Achebak, H., Pérez García-Pando, C., & Ballester, J. (2024). Population exposure to multiple air pollutants and its compound episodes in Europe. *Nature Communications*, 15(1), 2024.
 - Cheng, W. L., Chen, Y. S., Zhang, J., Lyons, T. J., Pai, J. L., & Chang, S. H. (2007). Comparison of the revised air quality index with the PSI and AQI indices. *Science of the Total Environment*, 382(2-3), 191-198.
 - Ćurić, M., Zafirovski, O., & Spiridonov, V. (2022). *Essentials of medical meteorology* (pp. 245-278). Springer.
 - EEA (2023a). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. Technical guidance to prepare national emission inventories*. ISBN 978-92-9480-598-0. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 28 pp. <http://doi.org/10.2800/795737>
 - EEA (2023b). *Frequently asked questions (FAQs). What do the air quality index values mean?* <https://www.eea.europa.eu/en/about/contact-us/faqs/what-do-the-air-quality-index-values-mean>
 - Elminir, H. K. (2005). Dependence of urban air pollutants on meteorology. *Science of the total environment*, 350(1-3), 225-237.
 - García-Dalmau, M., Udina, M., Bech, J., Sola, Y., Montolio, J., & Jaén, C. (2022). Pollutant concentration changes during the COVID-19 lockdown in Barcelona and surrounding regions: modification of diurnal cycles and limited role of meteorological conditions. *Boundary-Layer Meteorology*, 183(2), 273-294.
 - Gencat (2019a). *Legislació en matèria de contaminació atmosfèrica. Medi Ambient, Qualitat de l'Aire. Medi Ambient i Sostenibilitat*, Generalitat de Catalunya, https://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/valors_legislats_de_la_qualitat_de_laire/index.html
 - Gencat (2019b). *Principals Contaminants. Medi Ambient, Atmosfera, Qualitat de l'Aire. Medi Ambient i Sostenibilitat*, Generalitat de Catalunya, https://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/principals_contaminants/index.html

- Gencat (2021). Acció Climàtica posa en funcionament sis nous punts de mesurament de la contaminació atmosfèrica per partícules en suspensió. Generalitat de Catalunya, <https://govern.cat/salaprensa/notes-premsa/415384/acci%C3%B3-clim%C3%A0tica-posa-en-funcionament-sis-nous-punts-de-mesurament-de-la-contaminaci%C3%B3-atmosf%C3%A8rica-per-part%C3%ADcules-en-suspensi%C3%B3>
- Gencat (2022). L' Índex Català de Qualitat de l' Aire (ICQA). Medi Ambient, Atmosfera, Qualitat de l' Aire. Avaluació de la qualitat de l'aire. Medi Ambient i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, https://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/avaluacio/icqa/index.html
- Jaén, C., Udina, M., & Bech, J. (2021). Analysis of two heat wave driven ozone episodes in Barcelona and surrounding region: Meteorological and photochemical modeling. *Atmospheric Environment*, 246, 118037.
- Loosmore, G. A., & Cederwall, R. T. (2004). Precipitation scavenging of atmospheric aerosols for emergency response applications: testing an updated model with new real-time data. *Atmospheric Environment*, 38(7), 993-1003.
- Luan, T., Guo, X., Zhang, T., & Guo, L. (2019). Below-cloud aerosol scavenging by different-intensity rains in Beijing city. *Journal of Meteorological Research*, 33(1), 126-137.
- Mesas-Carrascosa, F. J., Pérez Porras, F., Triviño-Tarradas, P., García-Ferrer, A., & Meroño-Larriva, J. E. (2020). Effect of lockdown measures on atmospheric nitrogen dioxide during SARS-CoV-2 in Spain. *Remote Sensing*, 12(14), 2210.
- Minnis, P., Nguyen, L., Garber, D. P., Duda, D. P., Palikonda, R., & Doelling, D. R. (2003). Simulation of contrail coverage over the USA missed during the air traffic shutdown. In *European Conference on Aviation, Atmosphere, and Climate* Friedrichshafen, 8 pp.
- Oberdörster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Kreyling, W., & Cox, C. (2004). Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation toxicology*, 16(6-7), 437-445.
- Ossó, A., Sola, Y., Bech, J., & Lorente, J. (2011). Evidence for the influence of the North Atlantic Oscillation on the total ozone column at northern low latitudes and midlatitudes during winter and summer seasons. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D24).

- Papathanasiou, S. (2020). COVID-19, Air Pollution and Global Disruption. Air / Air Pollution / Air Quality / Health / Respirator/ See the Air. <https://seetheair.org/2020/03/12/covid-19-air-pollution-and-global-disruption/>
- Peters, A., Veronesi, B., Calderón-Garcidueñas, L., Gehr, P., Chen, L. C., Geiser, M., ... & Schulz, H. (2006). Translocation and potential neurological effects of fine and ultrafine particles a critical update. *Particle and fibre toxicology*, 3, 1-13.
- Petetin, H., Bowdalo, D., Soret, A., Guevara, M., Jorba, O., Seradell, K., & Pérez García-Pando, C. (2020). Meteorology-normalized impact of the COVID-19 lockdown upon NO₂ pollution in Spain. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(18), 11119-11141.
- Puig, O., Soler, M., Cot, J., & Vilaclara, E. (1994). La xarxa de vigilància i previsió de la contaminació atmosfèrica de Catalunya. *Revista de Física*, (6), 52-57.
- Querol, X., Alastuey, A., Reche, C., Orío, A., Pallares, M., Reina, F., ... & Millán, M. (2016). On the origin of the highest ozone episodes in Spain. *Science of the Total Environment*, 572, 379-389.
- Querol, X., Massagué, J., Alastuey, A., Moreno, T., Gangoiti, G., Mantilla, E., ... & Cornide, M. J. (2021). Lessons from the COVID-19 air pollution decrease in Spain: now what?. *Science of The Total Environment*, 779, 146380.
- Querol, X., Pey, J., Pandolfi, M., Alastuey, A., Cusack, M., Pérez, N., Moreno, T.; Viana, M.; Mihalopoulos, N. & Kleanthous, S. (2009). African dust contributions to mean ambient PM₁₀ mass-levels across the Mediterranean Basin. *Atmospheric Environment*, 43(28), 4266-4277.
- Seibert, P., Beyrich, F., Gryning, S. E., Joffre, S., Rasmussen, A., & Tercier, P. (2000). Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height. *Atmospheric Environment*, 34(7), 1001-1027.
- Sicard, P., De Marco, A., Agathokleous, E., Feng, Z., Xu, X., Paoletti, E., ... & Calatayud, V. (2020). Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown. *Science of the Total Environment*, 735, 139542.
- Sillman, S., & He, D. (2002). Some theoretical results concerning O₃-NO_x-VOC chemistry and NO_x-VOC indicators. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D22), ACH-26.
- SMC (2020) L'episodi de pluja general deixa més de 200 mm a

- l'àrea metropolitana de Barcelona. Servei Meteorològic de Catalunya. <https://govern.cat/govern/docs/2020/04/22/14/37/73109977-327e-4b57-9422-a95329a160b4.pdf>
- Soler, M.R., Bech, J. (1994). Indicadors de qualitat de l'aire: anàlisi comparativa i noves propostes. Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona, 60 pp.
 - Thom, G. C., & Ott, W. R. (1976). A proposed uniform air pollution index. *Atmospheric Environment* (1967), 10(3), 261-264.
 - Tobías, A., Carnerero, C., Reche, C., Massagué, J., Via, M., Minguillón, M. C., ... & Querol, X. (2020). Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Science of the Total Environment*, 726, 138540.
 - Travis, D. J., Carleton, A. M., & Lauritsen, R. G. (2002). Contrails reduce daily temperature range. *Nature*, 418(6898), 601-601.
 - Travis, D. J., Carleton, A. M., & Lauritsen, R. G. (2004). Regional variations in US diurnal temperature range for the 11–14 September 2001 aircraft groundings: Evidence of jet contrail influence on climate. *Journal of Climate*, 17(5), 1123-1134.
 - Udina, M., Soler, M. R., Olid, M., Jiménez-Esteve, B., & Bech, J. (2020). Pollutant vertical mixing in the nocturnal boundary layer enhanced by density currents and low-level jets: two representative case studies. *Boundary-Layer Meteorology*, 174(2), 203-230.
 - Vaisala (2020). BL-View User Guide. Vaisala. <https://docs.vaisala.com/r/M211185EN-E/en-US>
 - Van den Elshout, S., Léger, K., & Nussio, F. (2008). Comparing urban air quality in Europe in real time: A review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative. *Environment International*, 34(5), 720-726.
 - Venter, Z. S., Aunan, K., Chowdhury, S., & Lelieveld, J. (2020). COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(32), 18984-18990.
 - Vicente, A. B., Pardo, F., Sanfeliu, T., Casalta, S., & Bech, J. (2014). Assessment of PM10 and heavy metal concentration in a ceramic cluster (NE Spain) and the influence on nearby soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 320-327.
 - Wang, X. Y., & Wang, K. C. (2014). Estimation of atmospheric mixing layer height from radiosonde data. *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(6), 1701-1709.
 - WHO (2021). WHO global air quality guidelines: particulate mat-

- ter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. 290 pp. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- WHO (2022). Ambient (outdoor) air pollution factsheet. World Health Organization. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

DISCURS DE CONTESTACIÓ

a càrrec de l'Acadèmic Numerari

Excel·lentíssim Sr. Dr. Oriol Valls Planells

Excel·lentíssim Senyor President de la Reial Acadèmia de
Farmàcia de Catalunya,
Excel·lentíssims i Il·lustres Senyores i Senyors Acadèmics,
Autoritats, amics, senyores i senyors,

Abans de res, vull expressar la meua gratitud a la Junta de Govern de l'Acadèmia per haver-me encarregat la contestació del discurs de l'acadèmic numerari electe, Dr. Joan Bech i Rustullet.

Ho faig amb especial satisfacció, tant per la vàlua científica del nou acadèmic numerari, com per ser fill de l'estimat company i amic el Dr. Jaume Bech i Borràs, acadèmic numerari emèrit d'aquesta Acadèmia.

El Dr. Joan Bech Rustullet va néixer a Barcelona l'any 1970. El 1994 es va llicenciar en Ciències Físiques a la UB, en l'especialitat de física atmosfèrica, que va completar amb un curs de postgrau sobre Contaminació Ambiental a la Facultat de Química de la mateixa Universitat de Barcelona. Durant la carrera ja va començar a treballar com a investigador assistent en diversos projectes del Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona (DAM-UB), entre ells el de desenvolupament d'indicadors de qualitat de l'aire per a la Generalitat de Catalunya, o un projecte sobre mesures de distribucions de mides de gotes de pluja per a preparar estimacions quantitatives de precipitació per radar i estudis de erosivitat.

En 1996 va obtenir una plaça d'investigador visitant en pràctiques en el grup de teledetecció del Servei Meteorològic del Regne Unit i, posteriorment, va treballar en el projecte DARTH finançat per la Comunitat Europea. Fruit d'aquesta col·laboració va ser la posada en marxa d'un radar meteorològic Doppler a la Universitat de Barcelona i que el 1997 s'incorporés al Servei Meteorològic de Catalunya, on

va participar en el desplegament de la xarxa de radars meteorològics per donar suport a diverses aplicacions hidrometeorològiques i de vigilància meteorològica.

El 2003 va presentar la tesi doctoral, realitzada sota la direcció dels Drs. Jerónimo Lorente i Bernat Codina, amb el títol: “Anàlisi i modelització de les condicions de propagació atmosfèrica dels ecos de radar meteorològic”, que va merèixer la qualificació d’excel·lent “cum laude”, la menció de doctor Europeu i el Premi Extraordinari de Doctorat per la Universitat de Barcelona.

Des de llavors, el Dr. Joan Bech va impartir cursos de màster sobre teledetecció i meteorologia per radar, assessorant sobre nous sistemes de radar meteorològic a serveis aeronàutics, de protecció civil o de meteorologia de diversos països americans, com ara Honduras o Mèxic, i va col·laborar amb els serveis meteorològics d’Itàlia, Suècia i Noruega.

El 2005 va obtenir el reconeixement “Chartered Meteorologist (CMet)” per part de la Royal Meteorological Society del Regne Unit. Posteriorment va ser nomenat Cap de l’equip de Teledetecció del Servei Meteorològic de Catalunya, ampliant la seva responsabilitat als productes de satèl·lit meteorològic i observacions de llamps, recolzant a l’equip de predicció operativa del temps i participant en estudis de precipitacions intenses i tempestes fortes, como calamarsades intenses o casos de tornados, incloent el cas del 7 de setembre de 2005 que va afectar l’Aeroport de Barcelona.

Va, també, ser anomenat membre del Comitè de Gestió de les accions d’investigació de la UE COST 717 (2000-2005) i COST 731 (2005-2010), relacionades amb aplicacions avançades d’observacions de radar meteorològic i en el marc d’aquesta última, va fer una estada d’investigació al Servei Meteorològic de Noruega implementant tècniques de bloqueig de feixos de radar meteorològic per millorar les estimacions de pluja, desenvolupades durant el seu doctorat.

Des de 2003 ha impartit cursos universitaris de postgrau relacionats amb teledetecció i meteorologia radar i de capaciació de professionals, com l’Autoritat de Protecció Civil d’Hondures (COPECO), el

Servei Meteorològic de Mèxic (CONAGUA) i l’Autoritat Aeronàutica de Mèxic (SENEAM) sobre la instal·lació de nous sistemes de radar meteorològic.

El 2011 va obtenir per concurs-oposició, la plaça de Professor Titular a la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona i l’any 2020 la de Catedràtic d’Universitat al Departament de Física Aplicada de la mateixa universitat.

La seva recerca ha donat lloc a nombroses comunicacions científiques, havent publicant gairebé un centenar de treballs indexats en bases de dades bibliogràfiques, 95 a Web of Science i 97 a Scopus, amb índexs h 28 i 29, respectivament, segons dades del mes de març de 2024.

Conjuntament amb el Dr. Chau de l’Institut Leibniz de Física Atmosfèrica d’Alemanya, va editar el llibre d’accés obert: “Doppler Radar Observations”, amb l’aportació de més de 50 autors destacats a nivell internacional, disponible gratuïtament en <http://dx.doi.org/10.5772/2036>.

També hem d’esmentar que és membre del comitè editorial de revistes científiques indexades com ara *Tethys*, *Remote Sensing*, o *Meteorological Applications*, on recentment ha obtingut el Editor’s Award de l’any 2023 per la seva contribució al bon funcionament de la revista. A més actua regularment com a revisor per a una vintena de publicacions internacionals.

Per altra banda, cal fer esment de que ha dirigit 24 treballs de fi de grau, 34 treballs de fi de màster, i ha estat director o codirector de 12 tesis doctorals sobre meteorologia i física atmosfèrica, de las quals 4 estan actualment en curs.

Voldria destacar, d’entre els diversos projectes de recerca nacionals i internacionals en els quals ha participat, que en l’actualitat lidera com a investigador principal, un projecte del “Plan Nacional” sobre precipitació hivernal al Pirineu i un projecte de Prova de Concepte per a determinar el tipus de precipitació mitjançant un radar perfilador Doppler. A més participa en el projecte LIFE PYRENEES4CLIMA

com a investigador principal de la Universitat de Barcelona, estudiant l'impacte d'episodis meteorològics extrems en la qualitat de l'aire al Pirineu.

És membre de rellevants societats científiques, tant internacionals, com la *Royal Meteorological Society*, l'*American Meteorological Society*, o l'*European Geosciences Union*, com nacionals, com ara el *Grupo Español de Fotobiología*, que col·labora estretament amb diversos laboratoris farmacèutics, o l'Associació Catalana de Meteorologia, que va presidir durant quatre anys.

El 25 d'octubre de 2017 va ingressar com acadèmic corresponent d'aquesta Reial Acadèmia amb lectura del seu discurs d'ingrés titulat: "La radiació solar ultraviolada: climatologia de l'índex ultraviolat (UVI) a Barcelona".

En el seu discurs d'avui, el Dr. Joan Bech ha fet palesa la importància de la contaminació atmosfèrica sobre la salut de la població, especialment en el cas de persones amb hipersensibilitat fisicoquímica i diverses patologies respiratòries com l'asma bronquial, etc.

Ens ha mostrat la gran varietat de contaminants químics o particulars que es troben a l'atmosfera, en gran part per efecte de l'activitat humana, la qual cosa demostra la urgència que hi ha de posar-hi remei el més aviat possible.

També ens ha comentat la doble acció del ozó, que per una banda actua com a contaminant tòxic per les persones i animals i, per altre com un agent beneficiós pel seu efecte de filtre de les radiacions ultraviolades solars a la capa d'ozó de l'estratosfera. De fet, fa uns anys es va disparar l'alarma pel fet de que s'estaven formant greus forats a la capa d'ozó amb el conseqüent augment de la radiació ultraviolada que arribava a la superfície terrestre i una major incidència de càncers de pell. Sortosament, la prohibició a tot el món del ús dels freons com a refrigerants, principals responsables dels forats de la capa estratosfèrica d'ozó, ha fet que mica en mica s'hagi anat restaurant aquesta capa i hagi disminuït la radiació ultraviolada a la superfície terrestre.

Particularment interessant del discurs del Dr. Joan Bech és que ens ha

mostrat que va succeir durant el confinament imposat per l'epidèmia de SARS-CoV-2. La activitat humana va disminuir notablement com a conseqüència de l'aturada industrial, el nombre de vols aeris i el transport per vehicles de combustió. El resultat en quant a la contaminació de l'aire va ser espectacular, la qual cosa demostra, sense cap mena de dubtes, que el problema té solució.

També en el seu discurs, el Dr. Joan Bech, ens ha mostrat les diferències entre nivells de contaminació atmosfèrica, les franges horàries i les zones geogràfiques, la qual cosa pot ser útil a l'hora de prendre decisions, sobre tot per part de les persones amb hipersensibilitat als contaminants atmosfèrics i les que pateixen problemes respiratoris.

En resum, un discurs alhora d'un gran nivell científic i un interessant nivell pràctic.

Podem dir, doncs, com a conclusió i sense cap mena de dubte, que amb la seva elecció com a acadèmic numerari, la Reial Acadèmia de Farmàcia incorpora, a la secció Primera, (Física, Química i Ciències de la Terra) un excel·lent investigador, que ben segur enriquirà a l'Acadèmia aportant els seus coneixements i experiència a les tasques que se li encomanin.

Moltes gràcies per la seva atenció.



REIAL ACADÈMIA DE FARMÀCIA DE CATALUNYA