



**Plataforma contra
els Megacreuers**

**RESULTATS DE LA
XARXA CIUTADANA DE
MONITORATGE DE LA
QUALITAT DE L'AIRE**

PALMA

2n informe

2024

RESUM EXECUTIU

Aquest estudi presenta els resultats de la Xarxa Ciutadana de Monitoratge de la Qualitat de l'Aire de Palma durant l'any 2024, impulsada per la Plataforma contra els Megacreuers. A partir de les dades obtingudes per la xarxa de sensors de qualitat de l'aire de la Plataforma, informació sobre les escales de creuers, i les condicions ambientals, es fa una estimació de les emissions totals dels contaminants estudiats (PM, CO₂, SO_x, NO_x i CH₄), i s'analitza la relació entre les altes concentracions de PM i la presència de creuers al port.

Els resultats indiquen que l'any 2024 es van registrar 494 escales de creuers en 251 dies, que van sumar més d'1,8 milions de creueristes. Pel 2025 les previsions indiquen un augment del voltant del 10%, arribant a les 546 escales. A partir d'indicadors obtinguts a partir del combustible fet servir pels creuers, el seu tamany i el temps que han passat al port, es calcula que aquest trànsit va generar aproximadament 107 tones de PM, 48.000 tones de CO₂ i més de 1.000 tones tant de SO_x com de NO_x. El creuer que més ha contaminat ha estat l'MSC Seaview, un megacreuer, que ha sumat un temps total a port del voltant de 400 hores, en les que ha alliberat al voltant de 87 tones de SO_x i 7,35 tones de PM. L'ús de gas natural liquat (GNL) com a combustible per part d'alguns creuers, ha reduït les emissions de SO_x al port però per contra ha augmentat les de CH₄. Al voltant de la meitat de les emissions de CH₄, les ha fet l'Aidacosma, unes 219 tones. Els 5 creuers més contaminants (Aidacosma, MSC Seaview, Marella Voyager, Mein Schiff 2 i Costa Pacifica) són responsables del 40% de les emissions totals.

Pel que fa a l'anàlisi de la contaminació dels sensors de PM_{2.5} i PM₁₀, els mesos que registren mitjanes més altes són l'agost, el setembre i l'octubre, que també es troben entre els mesos amb més escales de creuers al port, especialment l'agost on s'han registrat mitjanes de contaminació d'entre 2,84 i 8,04 µg/m³ per PM_{2.5} i d'entre 7 i 11,68 µg/m³ per les PM₁₀. S'han detectat superacions puntuals del límit diari en diversos sensors durant aquests mesos d'agost, setembre i octubre. Mirant l'evolució de la contaminació mitjana al llarg del dia i comparant amb els límits legals i recomanats per cada partícula (que marquen mitjanes anuals) es veu com la zona més contaminada ha estat la Bonanova, especialment a l'agost, en què s'ha registrat un valor mitjà de contaminació per PM_{2.5} de 7,93 µg/m³, superior al valor de referència i més concretament entre les 11 i les 12h en què les mitjanes són del voltant de 22 µg/m³, superant també el límit legal. En altres mesos també es donen superacions a la Bonanova, com al mes de maig (PM_{2.5} - 8,714 µg/m³ a les 10h) al mes de setembre (PM_{2.5} - 17,014 µg/m³ a les 10h) o al mes d'octubre (PM_{2.5} - 8,1716 µg/m³ a les 11h). Altres sensors, com el de Vista Alegre també han registrat superacions al mes d'octubre per les PM_{2.5}, però especialment per les PM₁₀, en què s'han registrat valors a les 13h que arriben fins als 29,235 µg/m³. Totes aquestes superacions es donen en les hores centrals del dia posteriors a l'arribada

dels creuers al port, i en unes condicions ambientals que potencien l'acumulació de contaminant.

Aquesta anàlisi mostra com tot i estar complint la legislació europea si s'observen les mitjanes anuals, durant certes hores al dia la població està exposada a unes concentracions de contaminant superior a les recomanades. Els resultats del model de regressió lineal calculat a partir de les dades de contaminació, ambientals, i relatives a la presència de creuers al port, mostren una correlació positiva entre la presència de creuers i nivells alts de contaminació en alguns mesos i zones, la qual també està influenciada per variables ambientals com la temperatura i la humitat relativa.

La recent declaració del Mediterrani com a zona SECA i la prohibició de l'ús d'scrubbers al port de Palma, donen el context en què els resultats d'aquest estudi reforcen la necessitat d'avançar cap a una renovació i enfortiment de l'acord de limitació entre el Govern i les companyies navilieres, per tal de garantir una millor protecció ambiental i de salut pública a la ciutat.

1. INTRODUCCIÓ.....	5
2. CONTEXT LEGISLATIU.....	6
3. METODOLOGIA.....	8
3.1 Especificacions tècniques dels sensors.....	8
3.2 Resum de la metodologia d'estudi.....	10
4. RESULTATS.....	15
4.1 Trànsit marítim en el període d'estudi.....	15
4.2 Total de les emissions dels creuers.....	17
4.3 Sèries temporals a partir dels sensors.....	18
4.4 Model de regressió.....	22
5. Conclusions.....	23
ANNEX I - Taula contaminació creuers per factors emissió.....	26
ANNEX II - Taula mitjanes mensuals sensors.....	30
ANNEX III - Superacions dels llindars de contaminació diaris.....	31
ANNEX IV - Gràfiques evolució diària contaminació.....	34

1.INTRODUCCIÓ

Segons el Parlament Europeu, la contaminació atmosfèrica representa el risc més gran per a la salut a la Unió Europea i és causa de malalties cròniques i mortalitat prematura, tenint també efectes adversos en els ecosistemes¹. Segons l'Informe de Qualitat de l'Aire de l'Agència Europea del Medi Ambient (EEA), l'exposició a concentracions de contaminants per sobre dels nivells recomanats, va provocar a la 2022, un nombre significatiu de morts prematures a la UE, amb 238.000 morts atribuïdes a l'exposició a les PM2.5² (micropartícules de tamanys inferiors a 2,5 micres de diàmetre). A 2021, el 97% de la població urbana estava exposada a concentracions de PM2.5 per sobre dels nivells recomanats per l'OMS³.

La matèria particulada és un dels contaminants atmosfèrics més nocius per a la salut humana. Tant les PM10 (matèria particulada inferior a 10 µm) com les PM2,5 (inferiors a 2,5 µm), poden ser emeses per diverses fonts, tant naturals com antròpiques, però es troben fortament associades a la combustió del combustible que s'utilitza al transport marítim, especialment, als creuers⁴. Segons Corbett et al., 2007, al voltant del 70% de les emissions de PM relacionades amb la navegació es donen a menys de 400 km de la costa. En els casos en què els ports es troben localitzats a prop d'àrees urbanes densament poblades (com en el cas de Palma), les emissions dels vaixells poden ser la font dominant de pol·lució urbana⁵.

El *heavy fuel oil*, que és com es coneix el combustible que encara fan servir la majoria de creuers, és el producte final de la destil·lació del petroli i és molt més barat i contaminant que el que utilitzen els vehicles rodats (NABU, 2017). Els creuers turístics quan amarren a port continuen cremant *heavy fuel oil* per tal de seguir mantenint en marxa tots els sistemes a bord, pel que segueixen produint emissions de partícules PM2.5 i PM10, així com altres compostos nocius per la salut (com NOx i SOx, entre altres).

La inhalació d'aquestes partícules pot tenir una afectació important en la salut i dur associades complicacions cardiovasculars, pulmonars i respiratòries entre d'altres⁶, especialment en el cas de les PM2.5, que al ser més petites poden arribar encara més endins en els pulmons quan són inhalades i ser més perilloses per a la salut. Com a tal, l'emissió de PM10 i PM2.5 es troba regulada en l'àmbit europeu.

¹ Vivienne, H. A. L. L. E. U. X. (2023). Revision of EU air quality legislation: Setting a zero pollution objective for air.

² [Premature deaths due to air pollution continue to fall in the EU, more efforts needed to deliver a toxic-free environment — European Environment Agency \(europa.eu\)](#)

³ [Europe's air quality status 2023 — European Environment Agency \(europa.eu\)](#)

⁴ NABU, 2017. "Air pollution from cruise ships"

⁵ Viana et al., 2014; Donateo et al., 2014

⁶ American Lung Association.

A escala local, segons l'informe de Transport & Environment⁷ que estudia els nivells de contaminació de diferents ciutats europees, Palma és, a data de 2023, la quarta ciutat d'Europa amb més contaminació derivada de creuers turístics.

Donada aquesta situació d'emergència, des de la Plataforma contra els Mega Creuers es va impulsar la creació d'una Xarxa Ciutadana de Monitoratge de la Qualitat de l'Aire. Gràcies a una campanya de *crowdfunding* i al suport de l'entitat ambientalista NABU, l'estiu de 2021 es posa en marxa aquesta Xarxa Ciutadana, que en l'actualitat compta amb 7 sensors ubicats a diferents punts de Palma. L'any 2023 la Plataforma contra els Mega Creuers va emetre el primer informe de qualitat de l'aire, en el qual es va observar una relació que indicava unes majors concentracions de PM2.5 i PM10, els dos contaminants estudiats, les hores de més presència de creuers a port. En alguns casos, els valors registrats pels sensors arribaven a superar els límits establerts per la Unió Europea i per l'OMS.

Aquest informe és el segon que s'emet des de la Plataforma, i tracta l'anàlisi de la concentració de partícules en suspensió relacionada amb la presència de creuers al port de Palma. Al mateix temps, s'ha ampliat la metodologia de càlcul per tal de trobar la quantitat total de contaminants emesos pels creuers al Port de Palma.

2. CONTEXT LEGISLATIU

La legislació referent a les concentracions de partícules contaminants a l'aire, ve donada actualment per la combinació de dues Directives de la Comissió Europea, la Directiva 2008/50 relativa a la qualitat de l'aire⁸, i la 2004/107 de la Comissió Europea⁹ relativa a l'arsènic, cadmi, mercuri, níquel i hidrocarburs aromàtics policíclics. A Espanya, la Directiva 2008/50 es transposa mitjançant el Reial Decret 102 / 2011, del 28 de gener, relatiu a la millora de la qualitat de l'aire, i estableix màxims legals (anuals, diaris i horaris) per les PM10. Aquesta mateixa directiva, juntament amb la 2004/107/CE també crea el marc legal per les PM2.5.

Junt amb aquestes, la Directiva 2016/2284, modificada per la 2024/299¹⁰ parla sobre la reducció de les emissions de certs contaminants, entre els quals s'inclouen les PM2.5, i demana que els països es comprometin a adoptar mesures de control per la reducció de les emissions. Finalment, la Directiva 2015/1480¹¹ complementa diversos annexos de les dues directives principals, pel que fa a recomanacions per

⁷ Transport & Environment. (2023). The Return of the Cruise.

⁸ «DOUE» núm. 152, de 11 de junio de 2008, páginas 1 a 44

⁹ «DOUE» núm. 23, de 26 de enero de 2005, páginas 3 a 16

¹⁰ «DOUE» núm. 299, de 17 de enero de 2024, páginas 1 a 3

¹¹ «DOUE» núm. 226, de 29 de agosto de 2015, páginas 4 a 11

punts de referència, validació de dades i ubicació de punts de mostreig per les PM2.5 i les PM10.

A data de 14 d'octubre de 2024, la Comissió Europea ha aprovat una modificació de les directives 2004 / 107 CE i 2008 / 50 CE, que té l'objectiu de reduir l'exposició mitjana de la població als contaminants tractats en aquestes directives que estan associats a impactes sobre la salut humana, sobre la base de les recomanacions de l'Organització Mundial de la Salut més actualitzades.

Aquesta modificació estableix uns llindars límit, en diferents períodes temporals de càlcul, juntament amb uns valors d'avaluació més estrictes, que marquen la metodologia de mesura d'aquests contaminants en el cas de ser superats.

Per les partícules en suspensió, que són les que treballem en aquest estudi, els valors establerts són els següents (**Taula 1**):

	Període de càlcul mitjana	Valor límit	Valor avaluació
PM2.5	Dia	*25 µg/m ³	
	Any civil	10 µg/m ³	5 µg/m ³
PM10	Dia	*45 µg/m ³	
	Any civil	20 µg/m ³	15 µg/m ³

*Aquest valor mitjà diari no pot ser superat més de 18 vegades a l'any.

Altra legislació pertinent és la que a partir de l'1 de maig del 2025 estableix el mar Mediterrani com a zona SECA (*Sulphur Emissions Control Area*) el que limita al 0,1% el contingut de sofre que poden contenir els combustibles fets servir per les embarcacions, davant del 0,5% permès fins ara (excepte dins del port, en què el límit ja era del 0,1%). Amb aquesta mesura, l'Organització Marítima Internacional (OMI) vol promoure l'ús de combustibles alternatius, com el GNL. Cal dir que en molts casos, els creuers tenien la possibilitat de seguir fent servir combustibles amb continguts més grans de sofre, sempre que utilitzessin sistemes de neteja de les emissions o *scrubbers*. L'ús d'aquests *scrubbers*, però, també ha quedat regulat recentment a les Balears, per l'ordenança l'Autoritat Portuària del 15 de març del

2025¹² publicada al BOE¹³, al prohibir els sistemes de neteja d'emissions de circuit obert, i obligant a les empreses a entregar el residu d'aigua de neteja dels gasos contaminants a les instal·lacions del port.

3. METODOLOGIA

3.1 Especificacions tècniques dels sensors

Els sensors utilitzats a la Xarxa Ciutadana són del model Node MCU Nova PM Sensor SDS011 de qualitat de l'aire, i es troben connectat a la plataforma oberta de visualització de dades Sensor.Community. Aquests sensors mesuren la concentració de PM2.5 i PM10 en unitats de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mitjançant una tecnologia de dispersió làser. Mitjançant connexió WIFI, envien les dades cada 3 minuts a la plataforma Sensor.Community, on la informació es pot consultar en format de gràfiques.

Els sensors prenen mesures també d'humitat relativa, pressió i temperatura, i incorporen un petit calefactor que asseca l'aire per tal d'assegurar la qualitat de les dades.

Actualment, la xarxa compta amb un total de 7 sensors SDS011 (**Taula 2, Figura 1**).

Codi sensor	Any d'instal·lació	Ubicació	Enllaç
72964	2022 - juny	La Bonanova	https://api-rrd.madavi.de:3000/grafana/d/GUaL5aZMA/pm-sensors-by-map-id?orgId=1&var-chipID=72964&var-type=sds011&var-query0=feinstaub
86788	2022 - setembre	La Calatrava	https://api-rrd.madavi.de:3000/grafana/d/GUaL5aZMA/pm-sensors-by-map-id?orgId=1&var-chipID=86788&var-type=sds011&var-query0=feinstaub
86591	2022 - setembre	Passeig Marítim	https://api-rrd.madavi.de:3000/grafana/d/GUaL5aZMA/pm-sensors-by-map-id?orgId=1&var-chipID=86591&var-type=sds011&var-query0=feinstaub
74662	2022 - setembre	Pere Garau	https://api-rrd.madavi.de:3000/grafana/d/GUaL5aZMA/pm-sensors-by-map-id?orgId=1&var-chipID=74662&var-type=sds011&var-query0=feinstaub

¹² Ordenanza portuaria por la que se regulan determinadas actividades para la mejora en los objetivos de la calidad de las aguas en los puertos de la Autoridad Portuaria de Baleares. Ordenanza aprobada por el Consejo de Administración de la APB a fecha de 29 de enero de 2025 i publicada en el BOE nº 64 de 15 de marzo del 2025.

¹³ Boletín Oficial del Estado, núm 64, Sec III. Pág 34988

			ID=74662&var-type=sds011&var-query0=feinstaub
87161	2024 - maig	Vista Alegre	https://api-rrd.madavi.de:3000/grafana/d/GUaL5aZMA/pm-sensors-by-map-id?orgId=1&var-chipID=87161&var-type=sds011&var-query0=feinstaub
87189	2024 - maig	Cala Gamba	https://api-rrd.madavi.de:3000/grafana/d/GUaL5aZMA/pm-sensors-by-map-id?orgId=1&var-chipID=87189&var-type=&var-query0=
87899	2024 - maig	C/ Aragó	https://api-rrd.madavi.de:3000/grafana/d/GUaL5aZMA/pm-sensors-by-map-id?orgId=1&var-chipID=87899&var-type=sds011&var-query0=feinstaub



Figura 1: Mapa dels sensors de la plataforma de control de la qualitat de l'aire de la Plataforma contra els Megacreuers. Elaboració pròpia.

3.2 Resum de la metodologia d'estudi

Tota l'anàlisi i gràfics presentats s'han realitzat amb el programa *RStudio desktop*, en la seva versió 2023.06.2 + 561.

El temps d'estudi analitzat és entre l'1 de gener de 2024 fins al 31 de desembre de 2024, en total 12 mesos que inclouen la temporada alta d'estiu (juny - octubre) amb una major pressió turística, i una temporada baixa (gener - juny i novembre - desembre). És important recalcar que aquest any 2024 encara s'ha trobat sota l'acord de limitació d'arribada de creuers de les navilieres amb el Govern Balear, que fixa el límit a 3 creuers com a màxim consecutius al port, podent ser com a màxim un d'ells un megacreuer (un creuer amb una capacitat màxima de passatgers superior als 5.000).

La informació referent a les característiques particulars de cada creuer s'ha elaborat a partir de les seves fitxes tècniques i de les dades disponibles del sistema AIS on es pot consultar el nombre de llits baixos (que marquen la capacitat de passatgers del creuer), la mida expressada en GT (unitats de volum intern), el tipus de combustible que fan servir, etc.

Les dades referents a la presència de creuers al port de Palma (entrades, sortides, temps a port, etc.), han estat obtingudes directament de la pàgina web de l'Autoritat Portuària de Balears, concretament de l'apartat de previsió de tràfic dins del subapartat bucs al port¹⁴.

Les dades referents a la contaminació registrada per part de la xarxa de sensors de la Plataforma contra els Megacreuers (de PM2.5 i de PM10), s'han descarregat del portal web de ciència ciutadana Grafana de Sensors.Community¹⁵. Dels 7 sensors disponibles de la xarxa de control de la qualitat de l'aire de la Plataforma, se n'ha exclòs el de C/Aragó per problemes tècnics en el seu funcionament.

Les dades relacionades amb les variables ambientals s'han obtingut del servei API d'AEMET-Open Data.

Les entrades de pols sahariana s'han extret de l'informe publicat pel GOIB¹⁶.

3.2.1 Càlcul del total de contaminants

Aquesta primera anàlisi vol donar una estimació el total de contaminants (PM, CO₂, SO_x i NO_x) alliberats per tots els creuers que han fet escala al port de Palma entre l'1 de gener i el 31 de desembre del 2024.

¹⁴ <https://www.portsdebalears.com/es/buques-en-puerto>

¹⁵ <https://maps.sensor.community/#12/39.5793/2.6690>

¹⁶

Per a fer aquest càlcul, s'ha partit de la metodologia proposada per de Melo et al., 2017¹⁷, que calcula una sèrie d'indicadors aplicats a cada contaminant utilitzant estimacions calculades seguint el procediment de la Guia EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, a partir de la contaminació emesa per 150 creuers al port de Barcelona al 2016. El procediment matemàtic per a aquesta metodologia parteix de simplificacions en el tipus de motors i de combustible fets servir pels creuers, segons el Tier 3 de la guia EMEP/EEA. Segons de Melo, la millor combinació de variables independents que explica les variacions de la contaminació a port (variable dependent) és la de temps d'estada a port (en hores) amb el GT del creuer, pel que és el que s'ha fet servir. L'objectiu d'aquests indicadors és donar un marc metodològic simple a partir del qual es puguin fer inventaris d'emissions en altres ports.

L'indicador **Emissions (g) / port time - GT** que es farà servir inclou tant el temps de funcionament en port (85%) com el de maniobra d'entrada i sortida (15%) que componen la fase de *hotelling*. L'indicador original té un valor diferent per a cada contaminant estudiat, però no està actualitzat pel que fa a les millores tecnològiques que els creuers han implementat en els darrers anys.

Per mirar d'actualitzar la metodologia de de Melo, i incorporar factors com els nous combustibles que els creuers fan servir, es planteja l'actualització dels factors d'emissió, utilitzant valors adaptats d'estudis més recents i de correcció segons la metodologia *bottom up* del quart inventari de contaminació realitzat per la IMO¹⁸.

Contaminant	HFO (3,5%)	VLSFO (0,5% S)	MGO (0,1% S)	LNG (dual fuel)
CO2 (g/h - GT)	69,8	69,8	68,0	60
NOx (g/h - GT)	1,68	1,68	1,50	1,10
SOx (g/h - GT)	0,27	7,14	1,43	0
PM ((g/h - GT)	0,16	0,16	0,12	0,03
CH4 (g/h - GT)	0	0	0	2,5

HFO: Heavy Fuel Oil

VLSFO: Very Low Sulfur Fuel Oil

MGO: Marine Gas Oil

LNG: Liquefied Natural Gas

Adicionalment, segons l'any de construcció del creuer s'aplicarà un factor d'eficiència, entenent que els creuers més moderns presenten tecnologies més eficients i que tenen un major rendiment, derivant en menys emissions. Per creuers construïts abans del 2010, el factor d'eficiència és d'1, entre el 2010 - 2020 de 0,90 i pel 2021 o posterior de 0,80.

¹⁷ De Melo Rodríguez, G., Martín-Alcalde, E., Murcia-González, J. C., & Saurí, S. (2017). Evaluating air emission inventories and indicators from cruise vessels at ports. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 16(1), 1–22

¹⁸ IMO Greenhouse Gas (GHG) 4th study

<https://www.imo.org/en/ourwork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>

La fórmula que s'obté per l'estimació de les emissions totals de cada contaminant en l'Anàlisi 1 és la següent:

$$\sum Emissions_{jk} = I_{kl} * T_j * GT * EF$$

j fase de l'operació (cruising, maneuvering o hotelling)

k: contaminant (NOx, SOx, PM2.5, PM10...)

I: indicador Emissions (g) / Temps a port - GT.

l: tipus de combustible (HFO, VLSFO, MGO, LNG)

T: temps a port (h)

GT: volum intern del creuer.

EF: Efficiency Factor

Aquesta metodologia per tant, permet una estimació aproximada del total d'emissions dels creuers amarrats al port durant un temps determinat.

3.2.2 Anàlisi de les sèries temporals dels sensors

Utilitzant les dades obtingudes de la xarxa de sensors de la qualitat de l'aire, s'ha volgut veure com ha evolucionat la contaminació registrada en aquests punts per les partícules PM2.5 i PM10 en relació a la presència de creuers a port, com a activitat potencialment emissora en zones especialment sensibles.

El primer que s'ha fet ha estat un filtratge i processament de les dades dels sensors, amb l'objectiu de reduir el volum de dades i garantir-ne la consistència. Les mesures, obtingudes inicialment amb una alta freqüència temporal, s'han agregat per hora i posteriorment per dia, obtenint així valors mitjans diaris per a cada sensor. Un cop calculades les mitjanes horàries de cada sensor s'ha explorat la distribució de les dades en tot el període d'estudi (1 de gener - 31 de desembre del 2024). Aquesta evolució temporal s'ha creuat amb les dades d'escales de creuers i el registre provisional d'entrades de pols sahariana disponible a la web del GOIB¹⁹, les quals poden tenir en efecte en les dades.

A continuació s'han calculat les mitjanes anuals per sensor i per contaminant, i s'han comparat amb els límits legals anuals de 10 µg/m³ i de 20 µg/m³ per les PM2.5 i PM10 respectivament, així com del valor d'avaluació més restrictiu i la comparativa dels dies en què s'ha superat el valor límit diari.

Finalment dels mesos en que s'han registrat més escales de creuers al port s'ha analitzat com ha evolucionat la contaminació de PM2.5 i PM10 registrada pels sensors al llarg del dia per cada sensor, i s'ha comparat amb les arribades i sortides dels creuers al port.

¹⁹

https://www.caib.es/sites/atmosfera/ca/taula_actualitzada_dels_darrers_episodis_ocorreguts_a_les_illes_balears-3215/

Després de descarregar les dades dels sensors, s'ha vist que donat a problemes tècnics, els mesos de gener i febrer presenten buits pels sensors de la Calatrava, Cala Gamba, Passeig Marítim i Vista Alegre, el que fa que per a aquests mesos només es pugui disposar de les dades de Bonanova i Pere Garau, el que afecta als resultats obtinguts. També presenten buits els sensors de la Cala Gamba pels mesos de març i novembre i el de Vista Alegre pel mes de març.

3.2.3 Model estadístic

Finalment, s'ha intentat construir un model estadístic de regressió lineal per veure com diferents variables expliquen la concentració de contaminació de PM2.5 i PM10 registrada pels sensors, i intentar suggerir relacions entre la contaminació i la presència de creuers al port.

En primer lloc, s'ha aplicat una anàlisi de correlació de Pearson per les mitjanes anuals de contaminació per PM2.5 i PM10, que han actuat com a variables dependents, amb tot un seguit de variables ambientals i relacionades amb la presència de creuers a port, que han actuat com a variables independents.

Per poder veure més en detall com les variables independents afecten a la contaminació, s'ha realitzat la mateixa anàlisi separant els registres de contaminació per PM2.5 i PM10, per sensor i per mes com a variables diferents. El sensor de la Bonanova no s'ha tingut en compte per aquesta anàlisi al tenir un volum molt elevat de buits a les dades (*NA values*) per problemes tècnics. Per aquest mateix motiu no s'han tingut en compte el primer trimestre de l'any i desembre, pel què el període temporal de dades que s'ha fet servir pel model estadístic ha estat entre l'1 d'abril i el 30 de novembre del 2024. Les variables que s'han fet servir han estat:

Font	Nom	Descripció
Variables dependents		
https://maps.sensor.community/#12/39.5793/2.6690	Average_PM2.5	Mitjana de les concentracions de PM2.5 (dia) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
https://maps.sensor.community/#12/39.5793/2.6690	Average_PM10	Mitjana de les concentracions de PM10 (dia) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Variables independents		
Ambientals		
Servei API d'AEMET Open Data (registre de l'estació B228 - Palma, port) https://opendata.aemet.es/centrod	Temperatura.	Temperatura mitjana (dia) en $^{\circ}\text{C}$.
	Pressió.	Pressió màxima (dia) en hpa.

edescargas/productosAEMET?	Humitat.	Humitat mitjana (dia) en % d'humitat relativa.
	Dir_vent.	Mitjana direcció del vent dominant (dia), en desenes de grau.
	Vel_vent	Velocitat mitjana del vent en m/s (dia).
https://www.caib.es/sites/atmosfera/ca/taula_actualitzada_dels_darrers_episodis_ocorreguts_a_les_illes_balears-3215/	Pols	Variable categòrica (1 si, 0 no), referent a la presència d'entrades de pols sahariana (dia).
Presència creuers		
https://www.portsdebalears.com/es/buques-en-puerto	Cruise_gt	Tamany total dels creuers amarrats a port, en unitats de GT (dia).
AIS Marine Traffic: https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-12.0/centery:25.0/zoom:4	Cruise_cap	Capacitat màxima total dels creuers amarrats a port, en nº de persones (dia).
https://www.portsdebalears.com/es/buques-en-puerto	Cruise_time	Temps total que han passat els creuers amarrats a port, en hores (dia).
https://www.portsdebalears.com/es/buques-en-puerto	Cruise_num	Número total de creuers que han fet escala al port (dia).

Totes les variables del model han estat netejades i agrupades, utilitzant com a unitat temporal el dia (mitjanes en el cas dels sensors, sumes o mitjanes pels creuers). Per pal·liar els forats a les dades s'han realitzat imputacions per mitjanes, excepte en el cas de les variables relacionades als creuers, en que els *NA values* s'han substituït per zero, per representar que no s'hi registraren creuers al port.

Finalment, s'han analitzat les relacions lineals entre les variables (a través d'una matriu de correlació) per valorar si presenten una significació estadística prou rellevant per a afirmar que existeix una relació.

4. RESULTATS

4.1 Trànsit marítim en el període d'estudi

A continuació es mostra l'anàlisi de quants creuers han arribat a port per dia durant el període d'estudi (**Figura 2**). En total s'han enregistrat 251 dies amb escales de creuers al port de Palma, dels 365 dies totals que van entre l'1 de gener i el 31 de desembre. El nombre total d'escales registrades al Port de Palma el 2024 ha estat de 494.

En total a 90 dies es va registrar una sola escala d'un creuer, cosa que suposa un 35,85% del total de 251 dies amb escales. A 97 dies es van registrar dues escales, el que suposa un 38,6% del temps. A 48 dies es van registrar 3 escales, un 19,12%. 13 dies on es van registrar 4 escales, un 5,1%, i finalment a 3 dies (el 6 de maig, el 25 d'octubre i el 2 de novembre) es van registrar cinc creuers a port, el que suposa un 1,19% del temps total.

La mitjana ha estat de 1,97 escales per dia al port de Palma entre l'1 de gener i el 31 de desembre de 2024.

Agrupant les escales de creuers per mes, veiem com el mes que ha presentat el total d'escales més elevat ha estat el d'octubre amb 62 escales, seguit del mes de maig amb 61, agost amb 59 i setembre amb 58 (**Figura 3**).

Els mesos d'estiu (entre maig i octubre) també han estat els mesos que han presentat el major volum d'arribades de megacreuers, és a dir, creuers amb capacitats superiors als 5.000 passatgers (mesurats en nombre de llits baixos). Un 76,1%, és a dir, 86 megacreuers, han arribat entre maig i octubre al port de Palma.

Comparant amb les dades d'escales registrades en els anys anteriors, veiem que tot i l'acord de limitació, l'any 2024 ha estat l'any amb el major nombre d'escales registrades des del 2019 (abans de la pandèmia), en què es va registrar el rècord de 590.

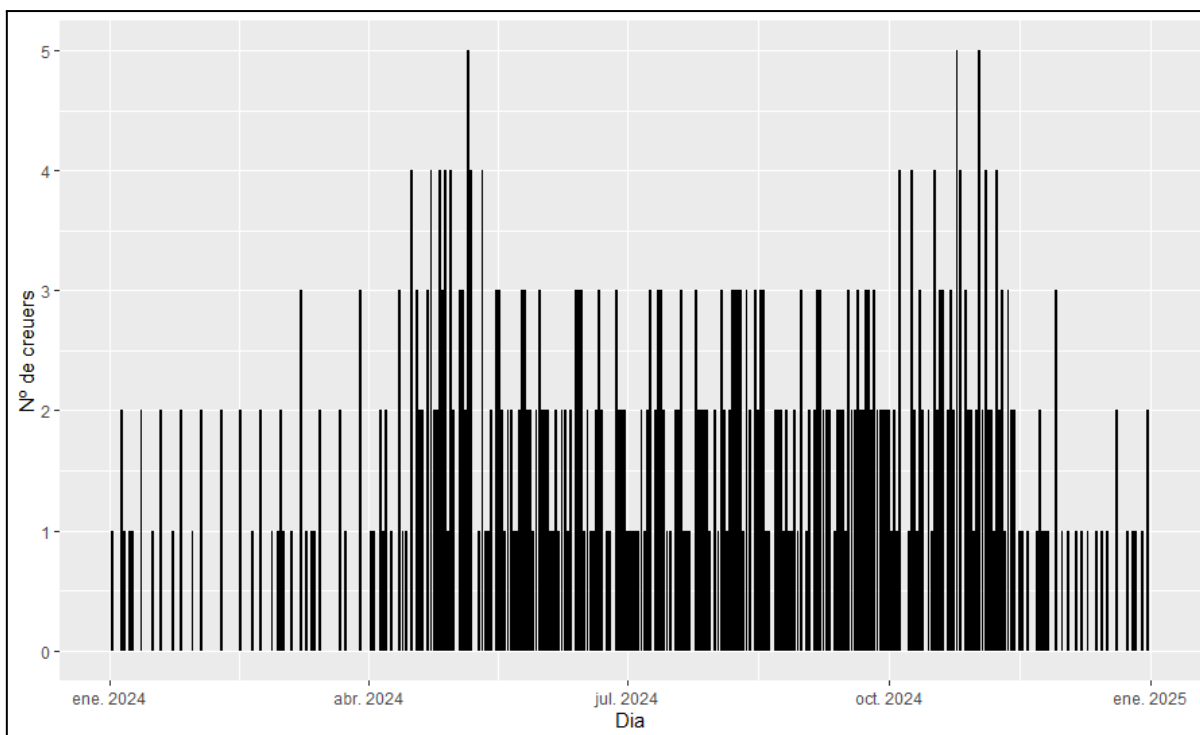


Figura 2: N° de creuers arribats a port durant el període d'estudi. Elaboració pròpia.

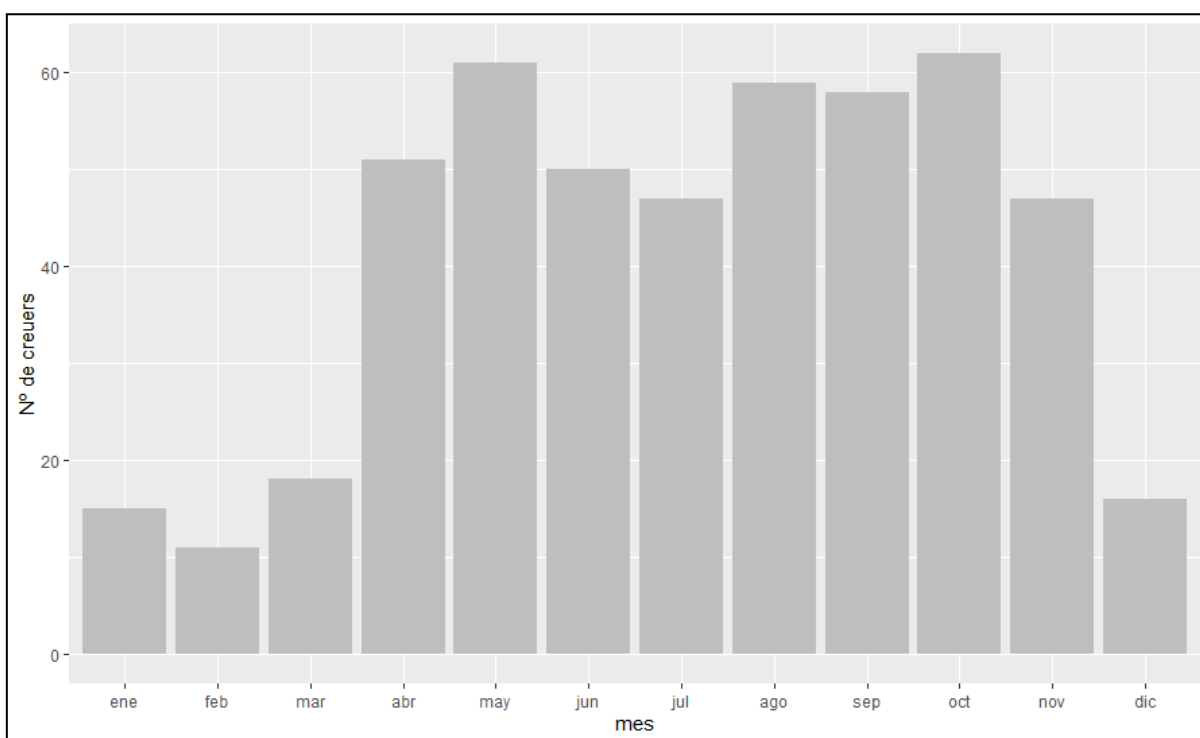


Figura 3: N° de creuers arribats a port per mesos durant el període d'estudi. Elaboració pròpia.

4.2 Total de les emissions dels creuers

A l'**Annex I** es presenta el volum d'emissions totals estimades per cada creuer, juntament amb el seu valor de GT i el nombre d'escales que ha realitzat al port de Palma entre l'1 de gener i el 31 de desembre. Es divideixen les emissions per a cada contaminant estudiat, PM, CO₂, SO_x, NO_x i CH₄.

El creuer que més escales ha realitzat l'any 2024 ha estat l'MSC Seaview, amb 29 escales i un temps total a port de gairebé 400 hores, en les que ha alliberat 7,35 tones de PM i 87,61 tones de SO_x, essent el creuer que més ha contaminat per aquestes partícules. l'Aidacosma, un altre megacreuer que fa servir GNL com a combustible, ha estat el creuer més contaminant quant a gasos d'efecte hivernacle. En total, en les 477 hores aproximades que ha estat amarrat al port ha alliberat al voltant de 5.250 tones de CO₂, 219 tones de CH₄ (que té un poder calorífic del voltant de 4 vegades superior al CO₂), i 96 tones de NO_x. El fet de fer servir com a combustible gas natural líquid fa que aquest creuer no hagi tingut emissions de SO_x, però ha incrementat les seves emissions de metà.

Sumant tots els creuers, s'han abocat un total de 63,38 tones de PM, 43.473,21 tones de CO₂, 692,45 tones de SO_x, 919,68 tones de NO_x i 439,38 tones de CH₄ al port de Palma entre l'1 de gener i el 31 d'octubre. Tot i el gran nombre de vaixells que han fet escala al port, un nombre reduït de creuers és responsable de la major part de les emissions totals. Els 5 creuers més contaminants (Aidacosma, MSC Seaview, Marella Voyager, Mein Schiff 2 i Costa Pacifica) acumulen al voltant d'un 40% de les emissions totals de contaminants (**Taula 3**). Dos d'aquests creuers l'MSC Seaview i l'Aidacosma, tenen grans tamanyes i capacitats màximes de passatgers superiors als 5.000, mentre que el Mein Schiff 2 i el Costa Pacifica tenen una capacitat al voltant de les 3.000 places i el Marella Voyager de 2.000.

Creuer	Temps (h)	GT	PM*	CO ₂ *	SO _x *	NO _x *	CH ₄ *
MSC Seaview	399,11	153516	7,35	4.166,41	87,61	91,906	-
Aidacosma	476,87	183774	2,63	5.258,14	0	96,40	219,09
Mein Schiff 2	432,57	111554	5,79	3.281,31	69	72,38	-
Marella Voyager	458,97	77302	4,28	2.412,58	50,74	53,22	-
Costa Pacifica	309,98	114425	4,26	2.411,95	50,72	53,20	-
% DEL TOTAL			38,32%	40,32%	37,27%	39,92%	49,86%
TOTAL*			107,048	48.034,24	1.001,377	1147,35	439,38

*Taula 3: Resum de la contaminació dels cinc creuers més contaminants entre l'1 de gener i el 31 de desembre del 2024. *Arrodonit a tones.*

4.3 Series temporals a partir dels sensors

Segons el Resum d'Episodis d'intrusió de partícules de pols a les Balears 2024, els mesos que han presentat més dies registrats amb entrades de pols sahariana que poden afectar a la concentració de PM a l'aire han estat el mes de novembre amb 13 dies, el mes d'octubre amb 10 dies i el mes de juliol amb 9 dies.

Analitzant l'evolució de les mesures de contaminació registrades pels sensors per les partícules PM2.5 i PM10, trobem el següent (**Annex 2**).

La majoria dels valors de contaminació més elevats registrats pels sensors s'han concentrat als mesos d'estiu, concretament entre l'agost, el setembre i l'octubre, que també són els mesos que presenten un major volum d'escales, 59, 58 i 62 creuers respectivament.

Concretament, el mes d'agost ha estat el que ha registrat uns valors mitjans de contaminació per PM2.5 (**Figura 4**) més elevats per tots els sensors (entre 3,14 i 8,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) excepte pel de Passeig Marítim, que registra el màxim al mes de setembre. Per les PM10 (**Figura 5**), també ha estat l'agost el que ha presentat els valors mitjans més elevats pels sensors de la Bonanova, Cala Gamba i Pere Garau (11,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 9,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivament), mentre que el sensor de Passeig Marítim ha registrat el màxim per setembre (10,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i el de Vista Alegre per octubre (14,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Si mirem les mitjanes per sensors, el sensor de la Bonanova és el que ha registrat les mitjanes més elevades de PM2.5 al llarg de tot el període d'estudi (mitjana anual de 4,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) amb el màxim al mes d'agost, que és encara superior si fem la mitjana pel període d'estiu (4,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Per les PM10 el sensor que ha registrat els valors mitjans més elevats ha estat el de la Calatrava, 8,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, amb el valor màxim al mes de març, en què només hi va haver 18 escales i 5 dies de pols en suspensió.

Si ens guiem per la normativa europea de limitació de la contaminació, cap sensor supera els límits mitjans legals de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per PM2.5, però si que se superen en alguns casos el límit del valor d'avaluació de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, concretament al mes de febrer, juliol i agost pel sensor de la Bonanova, i al mes d'agost pel de Pere Garau. Per les PM10, tampoc se superen els límits mitjans legals de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre que el valor d'avaluació es superat al mes de març a la Calatrava.

Si que se superen de forma puntual els límits diaris, de 25 per les PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i de 45 per les PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (**Annex 3**). Els límits de PM2.5 s'han superat 4 dies a l'agost i 1 al setembre a la Bonanova, i 3 vegades al gener i 1 a l'octubre a Pere Garau. Per les PM10, s'han superat 6 vegades al març i 5 a l'octubre a la Calatrava, 3 vegades a l'octubre a la Bonanova, 2, 5 i 2 vegades entre gener i març respectivament al sensor de Pere Garau i finalment 2 vegades a l'octubre a Vista Alegre. El mes de

novembre, que és el que presenta el màxim de dies d'entrades de pols sahariana registrats, no presenta cap superació dels límits, i en general no s'aprecia que aquestes aportacions de partícules en suspensió es vegin reflectides especialment en les mesures dels sensors.

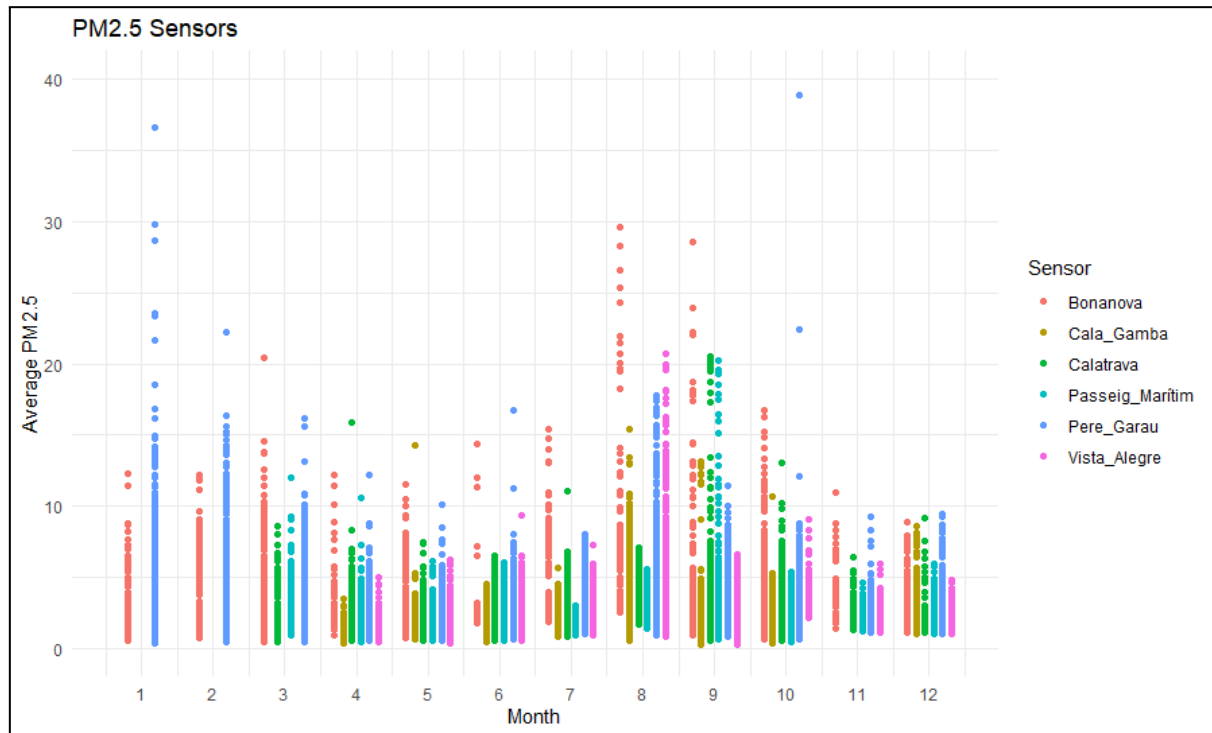


Figura 4: Contaminació per PM2.5 registrada pels sensors. Elaboració pròpia.

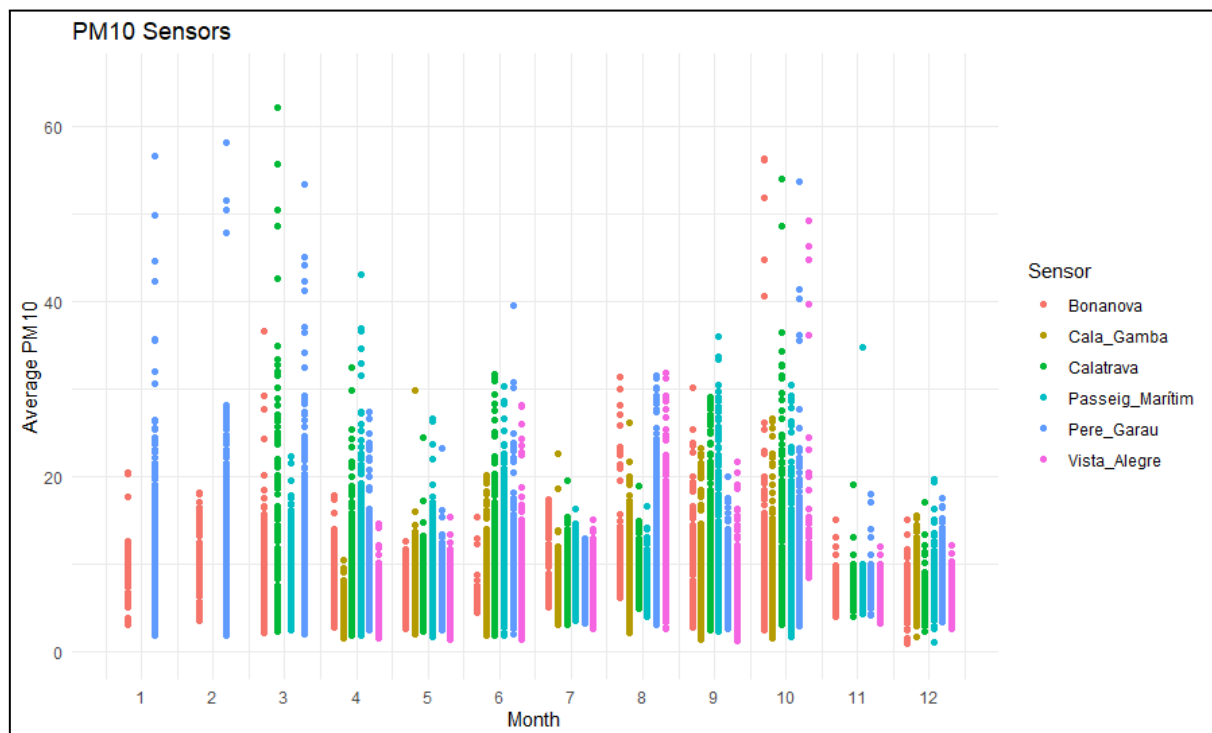


Figura 5 :Contaminació per PM10 registrada pels sensors. Elaboració pròpia.

Si fem una anàlisi més en profunditat dels quatre mesos amb uns majors volums d'escales de creuers (maig, agost, setembre i octubre), i analitzem com evoluciona la contaminació mitjana registrada pels sensors al llarg del dia trobem el següent (**Annex IV**).

Veiem com en els quatre mesos, la majoria d'arribades de creuers es concentren a primera hora del matí, especialment a les 7h del matí, mentre que les sortides es donen majoritàriament més repartides per la tarda, especialment a les 22h. De mitjana, els creuers estan al voltant de 13 hores al port. En general, es veu una relació entre les concentracions de contaminants i l'arribada de creuers al port, especialment als sensors propers al moll de Paraires on arriben els creuers. A continuació es mostra l'evolució diària mes a mes, i es compara amb els valors l·lindars d'avaluació i màxim de la Taula 1.

4.3.1 Maig

El mes de maig mostra uns valors molt baixos i estables de PM_{2.5} per tots els sensors, excepte per l'ubicat a la zona de la Bonanova, que mostra un augment de contaminació entre les 9h i les 13h, arribant a un valor màxim de 8,714 µg/m³ a les 10h que supera la referència del valor d'avaluació per aquestes partícules. Aquests valors més alts coincideixen amb l'arribada dels creuers a port i segurament a unes condicions ambientals que contribueixen a una menor dispersió de contaminants.

Per les PM₁₀, els valors mitjans són una mica més alts, oscil·lant al voltant dels 6,45 µg/m³ de mitjana. De nou trobem un increment entre les 9h i les 13h al sensor de la Bonanova per aquestes partícules, de nou el màxim de 10,238 µg/m³ a les 10h. El sensor de Passeig Marítim presenta també un increment entre les 7h i les 13h, amb el màxim de 12,661 µg/m³ a les 9h. Tant el sensor de la Bonanova com el de Passeig Marítim presenten augments més petits en les concentracions de PM₁₀ a la tarda, en el cas de la Bonanova entre les 21h i les 23h, (valors entre les 7,24 i les 8,02 µg/m³) i en el cas de Passeig Marítim entre les 15h i 16h (entre les 7,48 i les 8,28 µg/m³) i entre les 20h i les 22h (entre les 7,78 i les 8,26 µg/m³).

4.3.2 Agost

El mes d'agost presenta uns valors de contaminació per PM_{2.5} més elevats en general per tots els sensors. En el cas del sensor de la Bonanova, aquest presenta un valor mitjà de contaminació per PM_{2.5} a l'agost de 7,93 µg/m³, el mostra com s'han superat de forma constant el valor de referència d'aquestes partícules al llarg d'aquest mes. Especialment, entre les 9h i les 13h, es dona una situació en què la contaminació supera sobradament els 10 µg/m³ de valor límit legal anual, de nou coincidint amb les hores següents a l'arribada de creuers a port. Especialment a les 11h i les 12h, es registren unes mitjanes de 21,914 i de 22,862 µg/m³ respectivament.

Per les PM10 trobem una situació similar, unes mitjanes superiors en tots els sensors, especialment en el de la Bonanova d'11,569 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Torna a donar-se un increment que supera el valor límit anual entre les 10h i les 12h per les PM10, amb uns màxims de 24,308 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a les 11h i de 24,353 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a les 12h.

4.3.3 Setembre

El mes de setembre mostra de nou uns valors més baixos per les PM2.5, excepte pel sensor de Passeig Marítim. El sensor de la Bonanova torna a mostrar un augment de la contaminació per PM2.5 entre les 9h i les 13h, superior a les 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del valor límit anual, amb el màxim a les 10h on s'arriba als 17,014 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La resta de sensors presenten valors més baixos i estables al llarg de tot el dia.

Per les PM10, els valors mitjans de cada sensor comparant amb el mes d'agost són inferiors excepte pel sensor de Passeig Marítim, que presenta una mitjana de 10,392 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sense arribar a superar en cap hora el valor llindar de referència de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per les PM10. Si que ho supera el sensor de la Bonanova, entre les 11h i les 12h, amb valors de 17,014 i de 16,854 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivament.

4.3.4 Octubre

Per les PM2.5 al mes d'octubre, el sensor de la Bonanova i el de Vista Alegre són els que presenten les mitjanes més altes, de 4.187 i de 4.075 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivament. El sensor de la Bonanova presenta el mateix augment entre les 9h i les 13h, amb el màxim de 8,1716 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ superior al valor d'avaluació a les 11h, mentre que el sensor de Vista Alegre mostra un màxim de 6,269 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a les 13h.

Per les PM10, els sensors que presenten uns valors registrats més alts són el de Vista Alegre, amb una mitjana de 14,905 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i el de la Calatrava de 10,832 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Concretament en el cas del sensor de Vista Alegre, els valors de PM10 registrats creixen al llarg de tot el matí, fins a arribar a superar els 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre les 8h i les 16h i els 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre les 12h i les 15h. El màxim de les 13h arriba als 29,235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valors molt elevats, donat que el dia 30 es van registrar valors superiors als 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en aquesta franja.

4.4 Model de regressió

A partir de la matriu de correlació elaborada a partir de les mitjanes totals de les variables estudiades al llarg de tot el període d'estudi, es veu com les condicions ambientals com la temperatura i la humitat tenen una correlació moderada positiva amb la concentració de partícules PM2.5 ($r = 0.297$ en el cas de la temperatura i $r = 0.20$ en el cas de la humitat) i de PM10 ($r = 0.28$ en el cas de la humitat). Això pot estar associat a unes condicions d'estabilitat atmosfèrica i menys dispersió de les partícules en dies càlids i humits, i pot explicar les concentracions màximes d'aquestes partícules en les hores centrals del dia. En canvi la pressió atmosfèrica, i

les variables associades a l'activitat dels creuers, presenten correlacions més febles amb la contaminació en termes generals.

Veient el resum de l'anàlisi dels coeficients de correlació de la contaminació separada per sensors, partícules i mes, veiem la relació entre les variables que identifiquen els creuers i les que identifiquen la contaminació dels sensors han tingut un coeficient positiu (suggerint, per tant, una relació directa entre les dues variables) en alguns casos: Cruise_time - PM10_Vista_Alegre (r: 0,42). Cruise_num - PM10_Passeig_Marítim (r: 0,25). Cruise_cap - PM10_Calatrava (r: 0,32). Cruise_num - PM2.5_Calatrava (r: 0,30). Cruise_num - PM10_Passeig_Marítim (r: 0,42). Cruise_time - PM2.5_Passeig_Marítim (r: 0,26).

En general, l'anàlisi presenta patrons clars però contradictoris en alguns casos, que suggereixen una relació complexa entre la contaminació registrada pels sensors i els factors estacionals i locals.

Les correlacions positives més fortes es registren al sensor de Passeig Marítim al mes de setembre pels dos tipus de partícules, mentre que a la Calatrava es veu una correlació positiva amb els creuers a port i la presència de partícules PM10, la qual és negativa a l'agost pel sensor de Vista Alegre. D'aquí es dedueix que a l'alta temporada, l'activitat dels creuers podria contribuir a l'increment de les partícules a les zones properes a port, però aquest efecte no és consistent a totes les ubicacions segurament degut a efectes locals com el vent. De totes les variables de creuers, la que ha mostrat una major influència presentant les correlacions més altes ha estat la del nombre de creuers al port, la capacitat màxima i la mida han tingut un impacte més limitat i el temps màxim de creuers al port s'associen tant a increments com a decrements.

5. Conclusions

En general, l'any 2024 ha estat un any intens quant a activitat de creuers. Tot i els acords de limitació entre el Govern i les companyies navilieres encara vigents, un total de 494 creuers han fet escala al port de Palma aquest any, repartits en 251 dies (una mitjana d'aproximadament d'un creuer i mig i 5.500 creueristes desembarcats per dia per tot l'any). La majoria d'escales s'han concentrat entre els mesos de la temporada turística (maig - octubre), essent octubre el mes que ha presentat el màxim d'escales, un total de 62, pel què la massificació real que s'ha donat aquests mesos ha estat molt major. També ha estat aquest període estival el que ha concentrat un percentatge major d'escales de megacreuers (creuers amb una capacitat superior als 5.000 passatgers), en total un 76,1%. Els creuers que arriben solen fer-ho al voltant de les 7 h del matí, i passen de mitjana unes 13 hores amarrats a port, pel què les sortides es concentren cap a les 20-21 h.

Posant la mirada en l'actual 2025, s'estima que arribaran al port de Palma un total de 546 creuers en tot l'any, arribant a prop dels volums rècord de l'any 2019 pre pandèmia. Aquest any 2025 també marca el moment en què s'ha de decidir si es vol renovar l'acord de limitació entre les navilieres i el Govern, amb efecte pràctic el 2027, ja que les escales es demanen sota un termini de dos anys.

Pel que fa als volums totals, la contaminació estimada amb el procediment descrit en tot el període de temps analitzat, els 101 creuers que han arribat al port han emès al voltant 107 tones de PM, 48 mil tones de CO₂ i més de mil tones de SO_x i de NO_x respectivament. Recordem que es tracta d'una estimació obtinguda a partir d'uns indicadors basats en la mida del creuer i el temps que passa a port, adaptats a l'actualitat incorporant elements moderns com combustibles alternatius i factors d'eficiència. Si comparem la quantitat de contaminant alliberat amb els valors que s'extreuen d'estudis que utilitzen una metodologia més elaborada, pot sorprendre com especialment els valors de SO_x poden ser molt elevats, de diversos ordres de magnitud més. Això pot ser degut en part, a l'ús de sistemes de neteja d'emissions de cicle obert (*scrubbers*) que gran part de la flota moderna de creuers ha implementat per tal de complir amb la normativa ambiental establerta en el conveni MARPOL. Aquests sistemes netegen els gasos alliberats pel creuer, reduint especialment el contingut efectiu de SO_x, permetent així que el creuer faci servir combustibles més barats i contaminants, alhora que continua complint la normativa ambiental. Per contra, però, aquests sistemes de neteja després alliberen tota aquesta contaminació com a aigua residual, sovint directament al mar, la qual no es registra. Tant és així, que recentment l'APB ha aprovat una ordenança que prohibeix l'ús d'aquests *scrubbers* al port de Palma, el que és especialment rellevant en el context de declaració del Mediterrani com a zona SECA.

Els creuers també són responsables de l'alliberament d'aproximadament 440 tones de metà (CH₄), gas d'efecte hivernacle que té un efecte calorífic del voltant de quatre vegades superior al CO₂. Aquest metà l'alliberen especialment els creuers que fan servir gas natural liquat (GNL) com a combustible com a solució per complir la normativa ambiental, ja que segons estudis el GNL tot i presentar unes concentracions inferiors especialment de SO_x i de la resta de contaminants, comporta, per contra, majors emissions de gasos que contribueixen al canvi climàtic.

En general, per totes les partícules, la majoria de contaminació la concentren els creuers de major tamany que més temps han estat al port, concretament set creuers dels 101 analitzats (Aidacosma, MSC Seaview, Mein Schiff 2, Marella Voyager, Costa Pacifica, Norwegian Escape i Aidaestella) són responsables del 50% de la contaminació total alliberada al port.

Segons el registre del GOIB de les entrades de pols sahariana a les Balears, els mesos amb més dies anotats han estat novembre, octubre i juliol, però a priori no hi ha hagut una relació clara entre uns majors nivells de partícules i aquestes intrusions de pols.

Observant en concret la contaminació per PM, els mesos que han registrat unes mitjanes més altes han estat l'agost, el setembre i l'octubre, que també es troben entre els mesos amb més escales de creuers a port. El valor de referència mitjà anual per les PM_{2.5} (5 µg/m³) establert per la UE s'ha superat pel sensor de la Bonanova als mesos de febrer, juliol i agost, i pel sensor de Pere Garau pel mes d'agost. Especialment, aquest mes destaca com el que presenta amb les mitjanes diàries més elevades tant per PM_{2.5} com per PM₁₀ per la majoria de sensors, entre 3,14 i 8,04 µg/m³. Observant l'evolució de la contaminació al llarg del dia, hem vist com durant l'agost s'han donat a la Bonanova superacions clares dels valors tant de referència com límits legals anuals per PM_{2.5} (10 µg/m³) a les hores centrals del dia entre les 9 i les 13h, arribant a registrar mitjanes horàries (a les 11h i les 12h) d'entre 21 i 22 µg/m³ i una mitjana mensual de 7,93 µg/m³ que supera el límit d'avaluació. Aquest llindar d'avaluació s'ha superat en altres ocasions a la Bonanova, com al mes de setembre i al mes de maig.

A més, els gràfics elaborats pels mesos amb més creuers mostren com la contaminació registrada, especialment a la Bonanova (la zona més propera al port), comença a augmentar just després del pic en l'arribada dels bucs al port a les 7h del matí, el que ens indica que pot existir una relació directa entre la presència de creuers a port i un augment de la contaminació.

Per les PM₁₀, de nou se superen de forma mitjana els límits legals en aquestes hores, també a la Bonanova, amb valors que arriben a més de 24 µg/m³ entre les 11h i les 12h. El sensor de Vista Alegre (zona propera a la Bonanova) també ha registrat superacions dels límits legals de PM₁₀ a l'octubre, el mes amb el major volum d'escales de creuers, arribant a gairebé els 30 µg/m³. La zona amb les mitjanes més elevades per PM₁₀ no ha estat cap d'aquestes, sinó la Calatrava, que registra els valors màxims al mes de març, tot i que no és un mes amb un volum d'escales de creuers molt alt ni molts dies de pols en suspensió registrats (si bé, el segon màxim es dona a l'octubre). Al mes de març a la Calatrava s'ha superat el valor d'avaluació de 15 µg/m³. Vista Alegre també ha registrat uns valors de PM₁₀ molt alts al mes d'octubre, superant els límits legals entre les 12h i les 15h i amb un màxim mitjà a les 13h de gairebé 30 µg/m³.

Aquesta anàlisi diària de les PM també ens parla de com, tot i que si ens cenyim als límits que marca la legislació europea a partir de mitjanes anuals i el núm. de dies de superació dels límits permesos no hi ha hagut incompliment de la normativa, si observem la situació dins del dia ens trobem que durant varies hores les persones que viuen en aquestes zones properes al port estan exposades a uns nivells de contaminació superiors als permesos, el que pot tenir efectes perjudicials en la salut d'aquesta població.

Finalment, l'anàlisi de correlació de Pearson mostra com la contaminació és un element complex on hi intervenen diverses variables, tan ambientals (com la temperatura, la humitat o el vent dominant) com relacionades amb la presència de

creuers. La major relació amb les variables d'humitat i temperatura suggereixen que els augments de la concentració de partícules a les hores centrals del dia també poden estar associats a unes condicions ambientals que propicien l'estancament de contaminant a les zones analitzades. Puntualment, es donen correlacions positives significatives entre el nombre de creuers i les mitjanes de contaminació; tot i això els resultats obtinguts de l'anàlisi de correlació no són estadísticament significants, segurament degut a disposar de poques dades després de la manipulació per omplir els forats en la sèrie temporal.

ANNEX I: TAULA CONTAMINACIÓ CREUERS PER FACTORS D'EMISSIÓ

Name	GT	Total_PM	Total_CO2	Total_SOX	Total_NOX	Total_CH4	Escapes	Temps_total_port
MSC SEAVEIW	153516	7352495,30	4166414005,60	87617235,71	91906191,30	0	29	399,116667
MARELLA VOYAGER	77302	4257484,95	2412574806,13	50735029,01	53218561,90	0	28	458,966667
AIDACOSMA	183774	2629070,84	5258141688,00	0,00	96399264,28	219089237	26	476,866667
COSTA PACIFICA	114425	4256381,15	2411949318,33	50721875,37	53204764,38	0	24	309,983333
MARELLA DISCOVERY 2	69472	3433167,30	1945461467,73	40911910,28	42914591,20	0	24	411,816667
AIDASTELLA	71304	3599140,70	2039513065,60	42889760,06	44989258,80	0	23	420,633333
MEIN SCHIFF 2	111554	5790545,03	3281308851,47	69003994,96	72381812,90	0	21	432,566667
NORWEGIAN ESCAPE	164998	3847753,36	2180393570,67	45852394,21	48096917,00	0	20	194,333333
COSTA TOSCANA	186364	953810,95	1907621904,00	0,00	34973068,24	79484246	16	170,6
MSC ORCHESTRA	92409	1694226,61	960061743,40	20189533,72	21177832,58	0	16	152,783333
OASIS OF THE SEAS	226838	3493305,20	1979539613,33	41628553,63	43666315,00	0	13	128,333333
SCARLET LADY	108192	1794905,28	1017112992,00	21389287,92	22436316,00	0	11	138,25
NORWEGIAN VIVA	143535	474813,78	949627560,00	0,00	17409838,60	39567815	10	110,266667
COSTA SMERALDA	185010	522005,72	1044011430,00	0,00	19140209,55	43500476,25	9	94,05
OASIS OF THE SEAS	225282	2333020,39	1322044888,80	27801826,34	29162754,90	0	9	86,3
QUEEN VICTORIA	90049	986396,75	558958156,07	11754561,22	12329959,33	0	9	91,283333
CRYSTAL SYMPHONY	51044	580778,63	329107891,47	6920945,36	7259732,90	0	7	94,816667
MARELLA EXPLORER 2	72458	973980,44	551922247,07	11606600,20	12174755,45	0	7	112,016667
ARVIA	185206	360318,27	720636546,00	0,00	13211670,01	30026522,75	6	64,85
AIDADIVA	69203	751406,17	425796831,93	8954256,91	9392577,18	0	5	90,483333
EVIRIMA	25401	248828,20	141002644,40	2965202,67	3110352,45	0	5	81,633333
MEIN SCHIFF 4	99526	888170,02	503296346,93	10584026,12	11102125,30	0	5	74,366667
MSC LIRICA	65591	364030,05	206283695,00	4338024,76	4550375,63	0	5	46,25
SEVEN SEAS MARINER	48075	296045,85	167759315,00	3527879,71	3700573,13	0	5	51,316667
MEIN SCHIFF 1	111554	762583,14	432130448,27	9087449,13	9532289,30	0	4	56,966667
SEVEN SEAS NAVIGATOR	28803	126560,38	71717549,80	1508177,89	1582004,78	0	4	36,616667
SILVER MOON	40844	235833,26	133638845,07	2810346,30	2947915,70	0	4	48,116667
BRITANNIA	143730	758894,40	430040160,00	9043491,60	9486180,00	0	3	44
CELEBRITY EQUINOX	121878	448754,80	254294384,40	5347661,32	5609434,95	0	3	30,683333

EMERALD SAKARA	5315	18049,74	10228186,00	215092,74	225621,75	0	3	28,3
EUROPA	28890	329981,58	186989562,00	3932280,50	4124769,75	0	3	95,18333333
RIVIERA	66172	239277,95	135590839,47	2851395,59	2990974,40	0	3	30,13333333
SEABOURN OVATION	41865	161263,98	91382922,00	1921729,10	2015799,75	0	3	32,1
SEVEN SEAS GRANDEUR	56199	191750,99	108658893,20	2285032,61	2396887,35	0	3	28,43333333
SEVEN SEAS VOYAGER	42363	157675,09	89349215,40	1878961,44	1970938,58	0	3	31,01666667
SILVER WHISPER	28258	115631,74	65524650,40	1377944,85	1445396,70	0	3	34,1
SUN PRINCESS	177882	174502,24	349004484,00	0,00	6398415,54	14541853,5	3	32,7
AZURA	115055	282114,86	159865087,33	3361868,75	3526435,75	0	2	20,43333333
CELEBRITY APEX	130818	315009,74	178505521,60	3753866,12	3937621,80	0	2	20,06666667
CELEBRITY ASCENT	129500	314685,00	178321500,00	3749996,25	3933562,50	0	2	20,25
CELEBRITY CONSTELLATION	90940	229714,44	130171516,00	2737430,41	2871430,50	0	2	21,05
LA BELLE DES OCEANS	5218	28625,95	16221370,53	341125,88	357824,35	0	2	45,71666667
MEIN SCHIFF 6	98811	431211,20	244353015,60	5138600,18	5390140,05	0	2	36,36666667
MEIN SCHIFF 7	112982	514745,99	291689395,47	6134056,40	6434324,90	0	2	37,96666667
MSC POESIA	92627	252686,46	143188991,73	3011180,27	3158580,70	0	2	22,73333333
NORWEGIAN PEARL	93530	263380,48	149248938,67	3138617,39	3292256,00	0	2	23,46666667
RESILIENT LADY	110000	276100,00	156456666,67	3290191,67	3451250,00	0	2	20,91666667
SEA CLOUD	2532	12923,33	7323219,20	154002,99	161541,60	0	2	42,53333333
SEA CLOUD II	3849	13486,90	7642574,40	160718,84	168586,20	0	2	29,2
SEABOURN SOJOURN	32477	90026,24	51014871,60	1072812,74	1125328,05	0	2	23,1
SEADREAM II	4333	10737,17	6084398,60	127951,32	134214,68	0	2	20,65
SEVEN SEAS SPLENDOR	56182	119442,93	67684328,13	1423361,61	1493036,65	0	2	17,71666667
SILVER RAY	44650	109571,1	62090290	1305722,275	1369638,75	0	2	20,45
SPIRIT OF DISCOVERY	58119	127861,8	72455020	1523686,45	1598272,5	0	2	18,33333333
STAR LEGEND	12969	59138,64	33511896	704735,46	739233	0	2	38
SUN PRINCESS	175000	111387,5	222775000	0	4084208,333	9282291,667	2	21,21666667
VISTA	67817	131836,248	74707207,2	1571048,622	1647953,1	0	2	16,2
WORLD TRAVELLER	9934	35384,908	20051447,87	421670,1537	442311,35	0	2	29,68333333
AIDABLU	71304	87989,136	49860510,4	1048537,204	1099864,2	0	1	10,28333333
AMADEA	29008	42583,744	24130788,27	507456,2827	532296,8	0	1	12,23333333

AMBIENCE	70285	83779,72	47475174,67	998374,9967	1047246,5	0	1	9,933333333
ANTHEM OF THE SEAS	168666	202736,532	114884034,8	2415943,673	2534206,65	0	1	10,01666667
AZAMARA ONWARD	30312	44073,648	24975067,2	525210,972	550920,6	0	1	12,11666667
AZAMARA PURSUIT	30277	54619,708	30951167,87	650884,8537	682746,35	0	1	15,03333333
AZAMARA QUEST	30277	30155,892	17088338,8	359357,713	376948,65	0	1	8,3
BALMORAL	43537	55291,99	31332127,67	658896,2142	691149,875	0	1	10,58333333
BOLETTE	62735	112421,12	63705301,33	1339685,013	1405264	0	1	14,93333333
CARIBBEAN PRINCESS	112894	126441,28	71650058,67	1506758,587	1580516	0	1	9,333333333
CELEBRITY INFINITY	90940	105854,16	59984024	1261428,74	1323177	0	1	9,7
CELEBRITY SILHOUETTE	122210	150807,14	85457379,33	1797118,418	1885089,25	0	1	10,28333333
DISNEY DREAM	129690	157703,04	89365056	1879294,56	1971288	0	1	10,13333333
EMERALD AZZURRA	5315	6633,12	3758768	79044,68	82914	0	1	10,4
EUROPA 2	42830	166608,7	94411596,67	1985420,342	2082608,75	0	1	32,41666667
EXPLORA II	63621	85379,382	48381649,8	1017437,636	1067242,275	0	1	11,18333333
EXPLORER OF THE SEAS	138194	167767,516	95068259,07	1999229,566	2097093,95	0	1	10,11666667
HANSEATIC NATURE	15651	26293,68	14899752	313333,02	328671	0	1	14
HEBRIDEAN SKY	4200	5199,6	2946440	61961,9	64995	0	1	10,31666667
ILMA	46750	159698	90495533,33	1903067,833	1996225	0	1	28,46666667
ISLAND PRINCESS	92822	113242,84	64170942,67	1349477,177	1415535,5	0	1	10,16666667
LE DUMONT-D URVILLE	9988	8609,656	4878805,067	102598,4007	107620,7	0	1	7,183333333
MARELLA DISCOVERY	69472	136026,176	77081499,73	1620978,597	1700327,2	0	1	16,31666667
MARELLA EXPLORER	76998	107181,216	60736022,4	1277242,824	1339765,2	0	1	11,6
MARINA	66084	97804,32	55422448	1165501,48	1222554	0	1	12,33333333
MEIN SCHIFF 5	98785	219105,13	124159573,7	2611002,799	2738814,125	0	1	18,48333333
NORWEGIAN DAWN	92250	125460	71094000	1495065	1568250	0	1	11,33333333
NORWEGIAN GETAWAY	145655	185855,78	105318275,3	2214781,378	2323197,25	0	1	10,63333333
NORWEGIAN PRIMA	143535	161907,48	91747572	1929397,47	2023843,5	0	1	9,4
NORWEGIAN SKY	77104	98230,496	55663947,73	1170580,077	1227881,2	0	1	10,61666667
ODYSSEY OF THE SEAS	167704	211642,448	119930720,5	2522072,505	2645530,6	0	1	10,51666667
QUEEN ANNE	113000	46725,5	93451000	0	1713268,333	3893791,667	1	13,78333333
RENAISSANCE	55575	65356,2	37035180	778828,05	816952,5	0	1	9,8

SEA CLOUD SPIRIT	5431	7538,228	4271662,533	89830,55033	94227,85	0	1	11,56666667
SEABOURN QUEST	32477	38777,538	21973938,2	462098,9945	484719,225	0	1	9,95
SERENADE OF THE SEAS	90090	83963,88	47579532	1000569,57	1049548,5	0	1	7,76666667
SILVER DAWN	40844	56691,472	32125167,47	675573,3747	708643,4	0	1	11,56666667
SILVER DAWN	40855	39547,64	22410329,33	471276,0433	494345,5	0	1	8,06666667
SILVER SPIRIT	39444	47175,024	26732513,6	562169,036	589687,8	0	1	9,96666667
SIRENA	30277	50562,59	28652134,33	602537,5308	632032,375	0	1	13,91666667
SPIRIT OF ADVENTURE	58119	104497,962	59215511,8	1245267,381	1306224,525	0	1	14,98333333
VOYAGER OF THE SEAS	138194	160028,652	90682902,8	1907008,103	2000358,15	0	1	9,65
WORLD NAVIGATOR	9923	9903,154	5611787,267	118012,5852	123789,425	0	1	8,31666667
		PM	C02	SOx	NOx	CH4		
TOTAL (Tones)	63,38078161	43473,21947	692,4554161	919,681778	439,3862338			

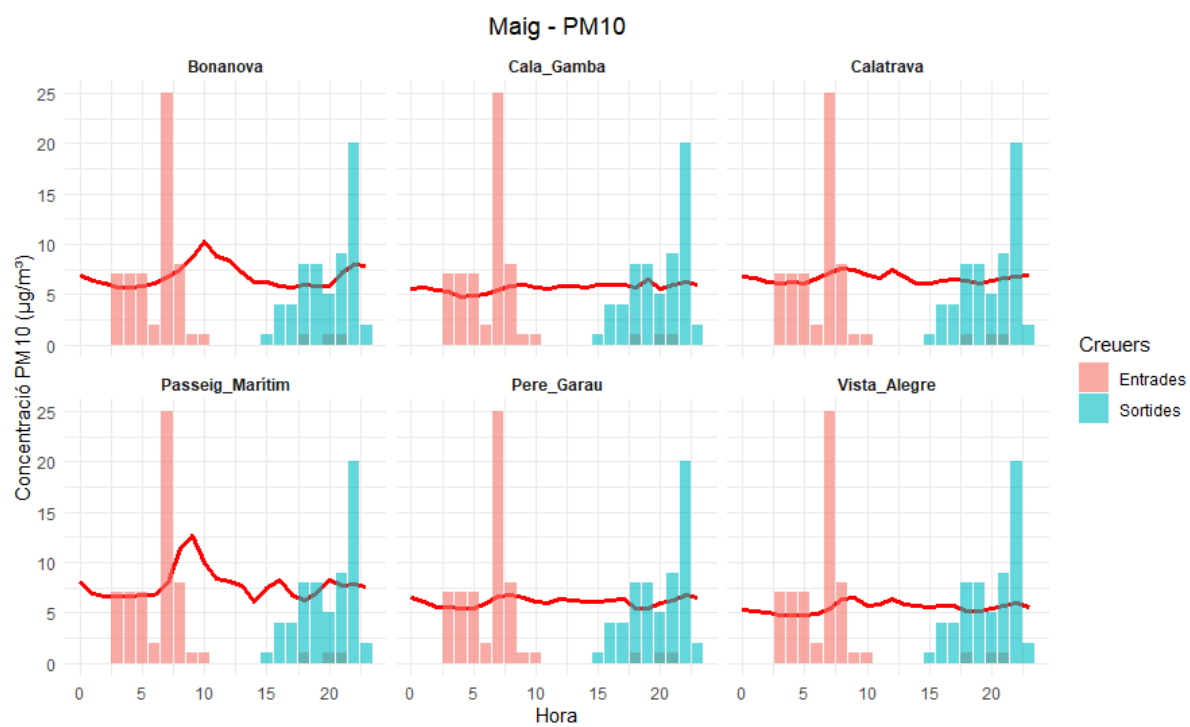
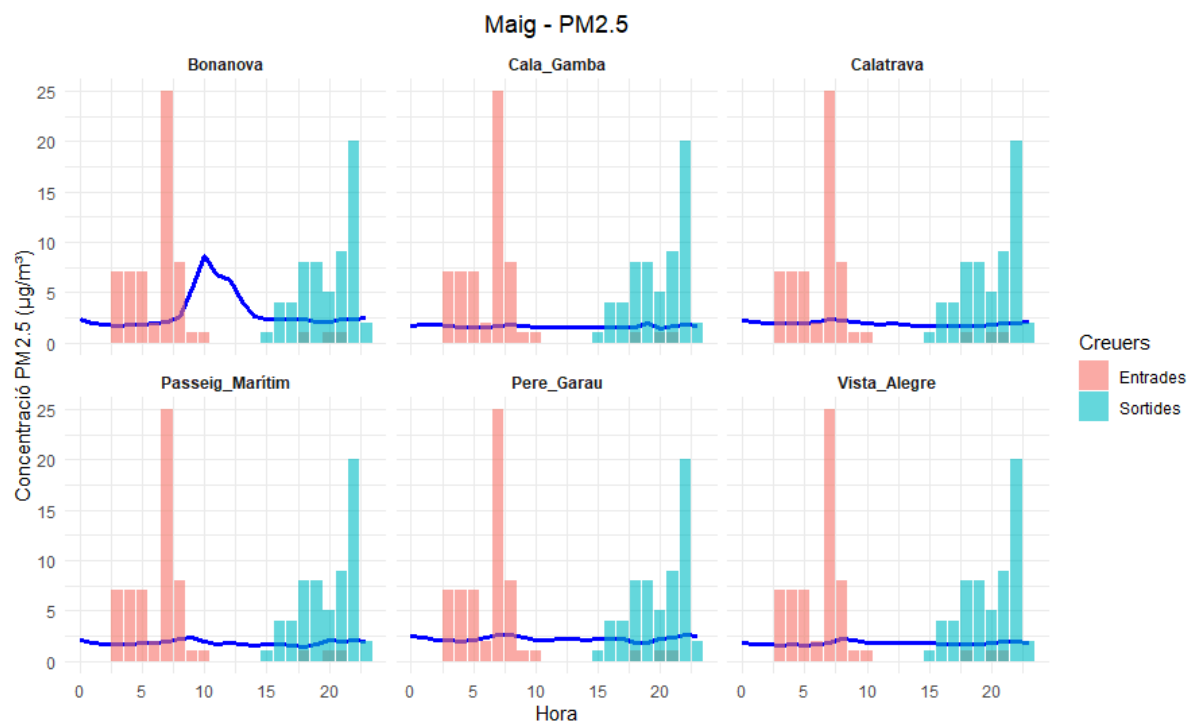
ANNEX II: TAULA MITJANES MENSUALS SENSORS														
	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	MITJANA SENSORS	
Calatrava	NA	NA	2,69 (8,57 - 0,45)	1,99 (15,87 - 0,51)	1,93 (7,5 - 0,54)	2,27 (6,54 - 0,52)	2,76 (11,07 - 0,81)	4,7 (0,6 - 1,73)	3,1 (20,54 - 0,54)	2,97 (13 - 0,52)	2,98 (6,4 - 1,33)	2,41 (9,13 - 1,13)	2,71	
Bonanova	3,83 (12,25 - 0,59)	5,11 (12,17 - 0,77)	3,54 (20,46 - 0,46)	3,45 (12,15 - 0,9)	3,07 (11,56 - 0,72)	3,61 (14,36 - 1,76)	6,04 (15,43 - 1,88)	8,04 (29,65 - 2,53)	4,48 (28,53 - 0,95)	4,18 (16,76 - 0,67)	4,37 (11 - 1,43)	2,86 (8,91 - 1,13)	4,38	
Cala_Gamba	NA	NA	NA	1,19 (3,44 - 0,38)	1,63 (14,32 - 0,64)	1,75 (4,55 - 0,48)	2,13 (5,62 - 0,82)	3,14 (15,45 - 0,58)	1,97 (13,11 - 0,29)	1,88 (10,68 - 0,4)	NaM (-inf - inf)	2,61 (8,6 - 1)	2,01	
Passeig_Maritim	NA	NA	2,76 (12,04 - 0,91)	1,96 (10,62 - 0,45)	1,86 (6,12 - 0,54)	2,01 (6,05 - 0,54)	1,9 (3,04 - 0,91)	2,84 (5,6 - 1,36)	3,32 (20,26 - 0,64)	1,76 (5,38 - 0,44)	2,2 (4,61 - 1,23)	2,05 (6,95 - 1)	2,27	
Pere_Garau	3,97 (36,61 - 0,4)	3,67 (22,19 - 0,5)	2,72 (16,13 - 0,44)	2,17 (12,22 - 0,59)	2,24 (10,12 - 0,56)	2,49 (16,76 - 0,67)	2,99 (8,02 - 1,06)	5,21 (17,75 - 0,9)	3,91 (11,48 - 0,84)	3,47 (38,92 - 0,6)	3,06 (9,3 - 1,14)	2,97 (9,47 - 1)	3,24	
Vista_Algre	NA	NA	NA	1,41 (5,02 - 0,45)	1,81 (6,22 - 0,34)	2,09 (9,35 - 0,54)	2,61 (7,32 - 0,9)	4,59 (20,7 - 0,84)	2,05 (6,59 - 0,26)	4,05 (9,03 - 2,15)	2,31 (5,98 - 1,15)	1,91 (4,8 - 1)	2,54	
Calatrava	NA	NA	15,83 (67,19 - 2,33)	7,45 (32,4 - 1,84)	6,62 (24,37 - 2,33)	8,06 (31,63 - 1,8)	7,88 (19,48 - 3,06)	8,46 (18,91 - 4,96)	8,4 (29,1 - 2,48)	10,87 (70,1 - 2,99)	7,83 (19 - 3,85)	6,26 (17 - 2,24)	8,77	
Bonanova	8,48 (20,45 - 2,98)	9,85 (18,06 - 3,47)	8,18 (36,53 - 2,12)	9,42 (17,78 - 2,79)	6,88 (12,53 - 2,65)	6,59 (15,39 - 4,46)	11,31 (17,34 - 5,01)	11,68 (31,41 - 6,12)	8,46 (30,12 - 2,87)	8,82 (56,23 - 2,42)	7,49 (15 - 3,92)	5,82 (15,1 - 0,96)	8,59	
Cala_Gamba	NA	NA	NA	4,49 (10,47 - 1,48)	5,69 (29,81 - 1,94)	6,06 (20,18 - 1,79)	6,12 (22,64 - 3,09)	7 (26,07 - 2,14)	5,89 (23,2 - 1,34)	6,43 (26,61 - 1,44)	NaM (-inf - inf)	6,3 (15,5 - 1,64)	6	
Passeig_Maritim	NA	NA	8,59 (22,34 - 2,47)	8,99 (43 - 1,76)	7,9 (26,65 - 1,72)	8,83 (30,27 - 1,79)	8,1 (16,25 - 3,58)	7,7 (16,61 - 3,99)	10,41 (36,04 - 2,3)	7,99 (30,47 - 1,6)	7,39 (34,7 - 4,23)	6,92 (19,7 - 1,02)	8,28	
Pere_Garau	9,72 (56,54 - 1,8)	9,61 (70,6 - 1,79)	8,77 (53,39 - 1,93)	7,08 (27,35 - 2,51)	6,12 (23,18 - 2,4)	6,98 (39,58 - 1,96)	6,84 (12,86 - 3,27)	9,83 (31,58 - 3,01)	8,26 (20,03 - 2,54)	9,25 (53,65 - 2,82)	7,98 (18 - 4,18)	7,2 (17,5 - 3,31)	8,14	
Vista_Algre	NA	NA	NA	4,87 (14,6 - 1,51)	5,53 (15,31 - 1,37)	6,61 (28,17 - 1,29)	6,74 (15,03 - 2,64)	8,81 (31,74 - 2,6)	5,7 (21,66 - 1,16)	14,79 (49,19 - 8,48)	6,35 (12 - 3,21)	5,31 (12,2 - 2,6)	7,19	
Nº DIES DE POLS	3	2	5	6	3	7	9	5	3	10	13	5		
ESCALERES CREUJERS	15	11	18	51	61	50	47	59	58	62	47	16		
MITJANA PM2.5	3,9	4,39	2,93	2,03	2,09	2,37	3,07	4,64	3,14	3,02	2,98	2,47		
MITJANA PM10	9,1	9,72	10,37	7,05	6,46	7,19	7,83	8,91	7,85	9,69	7,41	6,33		

ANNEX III: SUPERACIONS DELS LLINDARS DE CONTAMINACIÓ DIARIS						
	Sensor	Mes	Superacions_PM2.5	Superacions_PM10		
	Calatrava	Març	0	6		
	Calatrava	Abril	0	0		
	Calatrava	Maig	0	0		
	Calatrava	Juny	0	0		
	Calatrava	Juliol	0	0		
	Calatrava	Agost	0	0		
	Calatrava	Setembre	0	0		
	Calatrava	Octubre	0	5		
	Calatrava	Novembre	0	0		
	Calatrava	Desembre	0	0		
	Bonanova	Gener	0	0		
	Bonanova	Febrer	0	0		
	Bonanova	Març	0	0		
	Bonanova	Abril	0	0		
	Bonanova	Maig	0	0		
	Bonanova	Juny	0	0		
	Bonanova	Juliol	0	0		
	Bonanova	Agost	4	0		
	Bonanova	Setembre	1	0		
	Bonanova	Octubre	0	3		
	Bonanova	Novembre	0	0		
	Bonanova	Desembre	0	0		
	Cala_Gamba	Abril	0	0		
	Cala_Gamba	Maig	0	0		
	Cala_Gamba	Juny	0	0		
	Cala_Gamba	Juliol	0	0		
	Cala_Gamba	agosto	0	0		

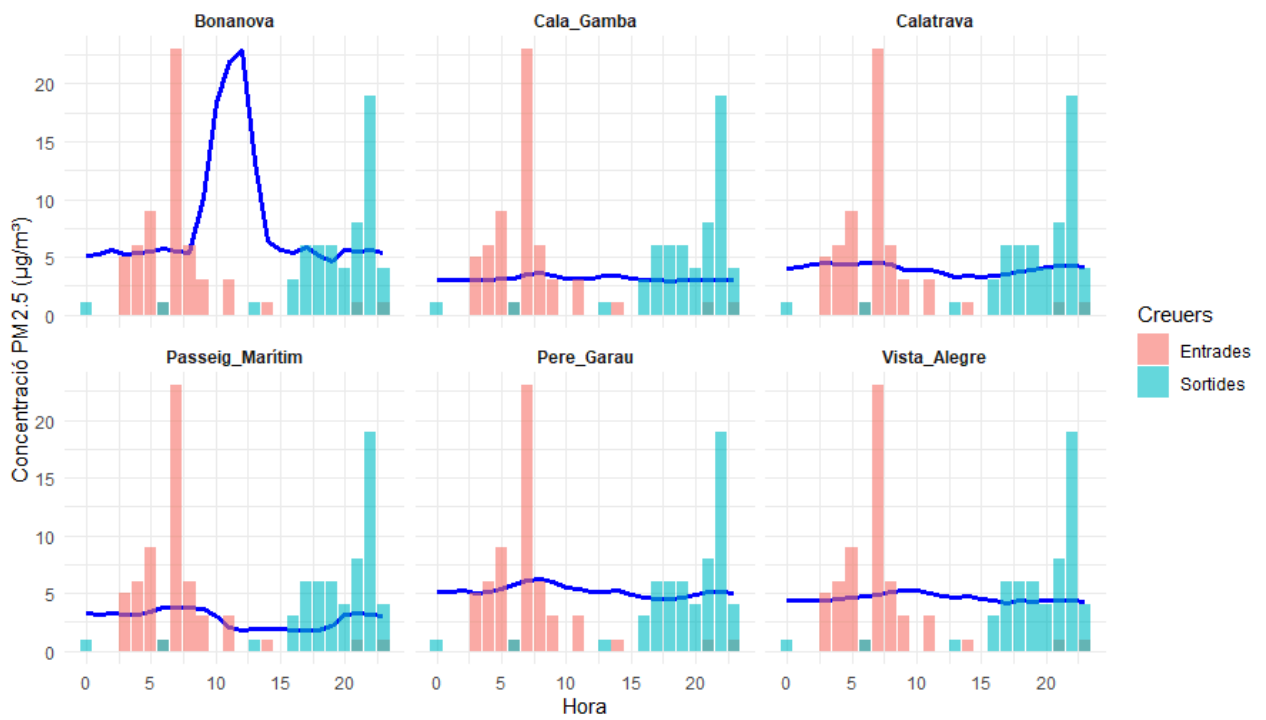
	Cala_Gamba	Setembre	0	0		
	Cala_Gamba	Octubre	0	0		
	Cala_Gamba	Novembre	0	0		
	Cala_Gamba	Desembre	0	0		
	Passeig_Marítim	Març	0	0		
	Passeig_Marítim	Abril	0	0		
	Passeig_Marítim	Maig	0	0		
	Passeig_Marítim	Juny	0	0		
	Passeig_Marítim	Juliol	0	0		
	Passeig_Marítim	Agost	0	0		
	Passeig_Marítim	Setembre	0	0		
	Passeig_Marítim	Octubre	0	0		
	Passeig_Marítim	Novembre	0	0		
	Passeig_Marítim	Desembre	0	0		
	Pere_Garau	Gener	3	2		
	Pere_Garau	Febrer	0	5		
	Pere_Garau	Març	0	2		
	Pere_Garau	Abril	0	0		
	Pere_Garau	Maig	0	0		
	Pere_Garau	Juny	0	0		
	Pere_Garau	Juliol	0	0		
	Pere_Garau	agosto	0	0		
	Pere_Garau	Setembre	0	0		
	Pere_Garau	Octubre	1	1		
	Pere_Garau	Novembre	0	0		
	Pere_Garau	Desembre	0	0		
	Vista_Alegre	Abril	0	0		
	Vista_Alegre	Maig	0	0		
	Vista_Alegre	Juny	0	0		
	Vista_Alegre	Juliol	0	0		

	Vista_Alegre	Agost	0	0		
	Vista_Alegre	Setembre	0	0		
	Vista_Alegre	Octubre	0	2		
	Vista_Alegre	Novembre	0	0		
	Vista_Alegre	Deseembre	0	0		

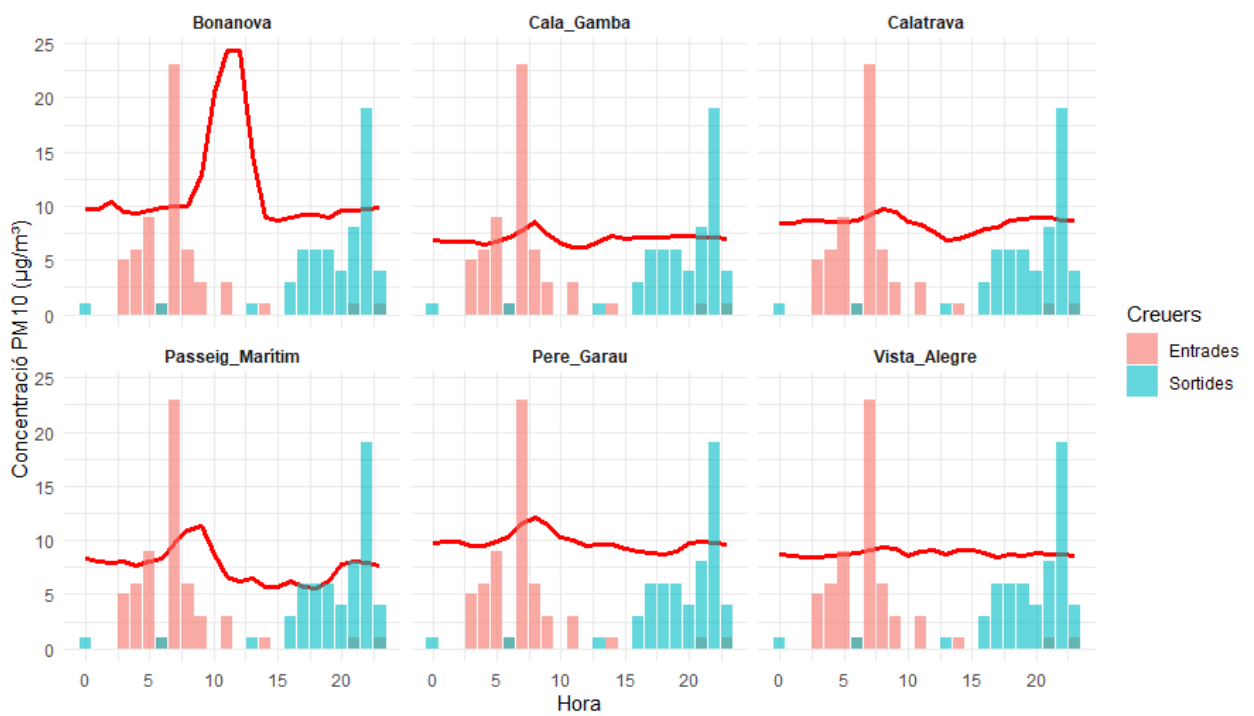
ANNEX IV: GRÀFICS EVOLUCIÓ DIÀRIA CONTAMINACIÓ



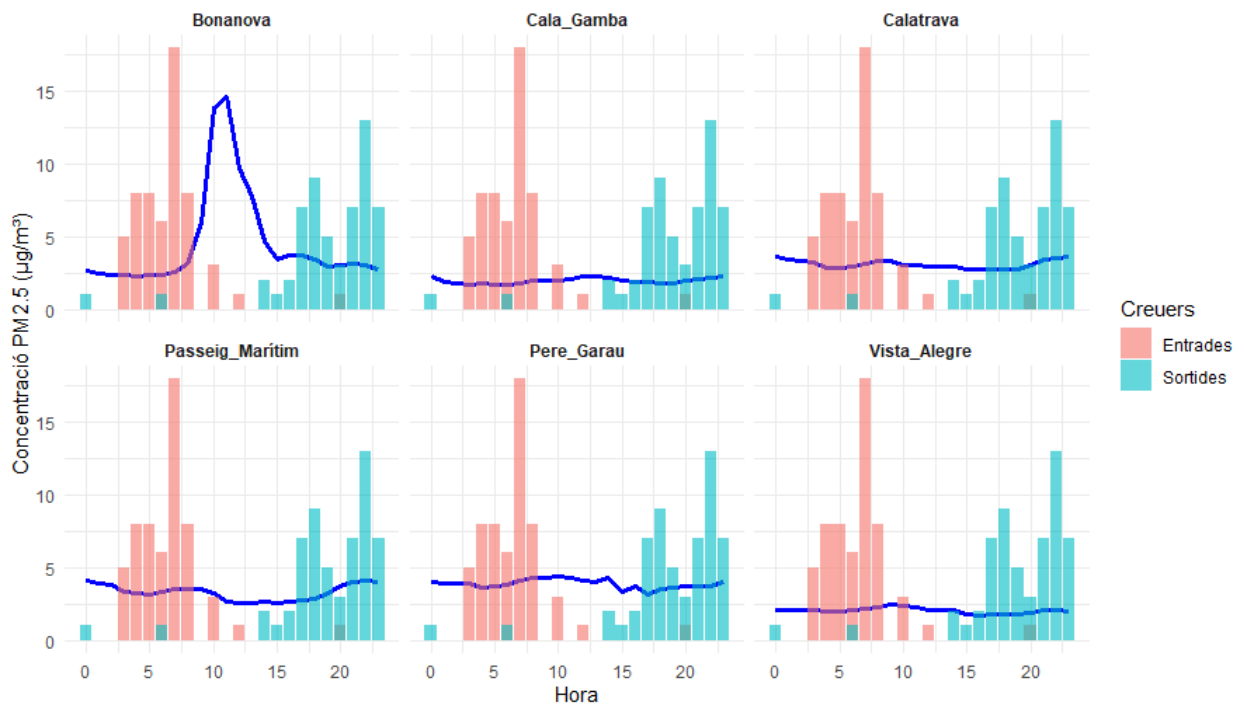
Agost - PM2.5



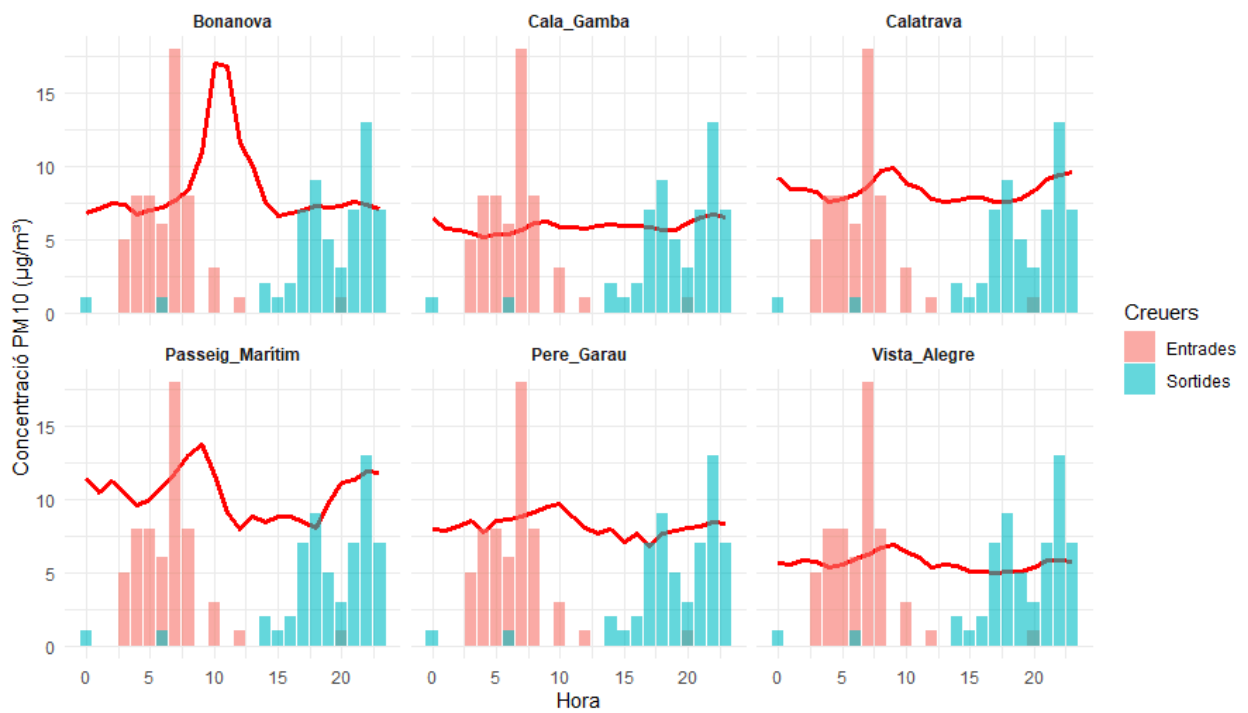
Agost - PM10



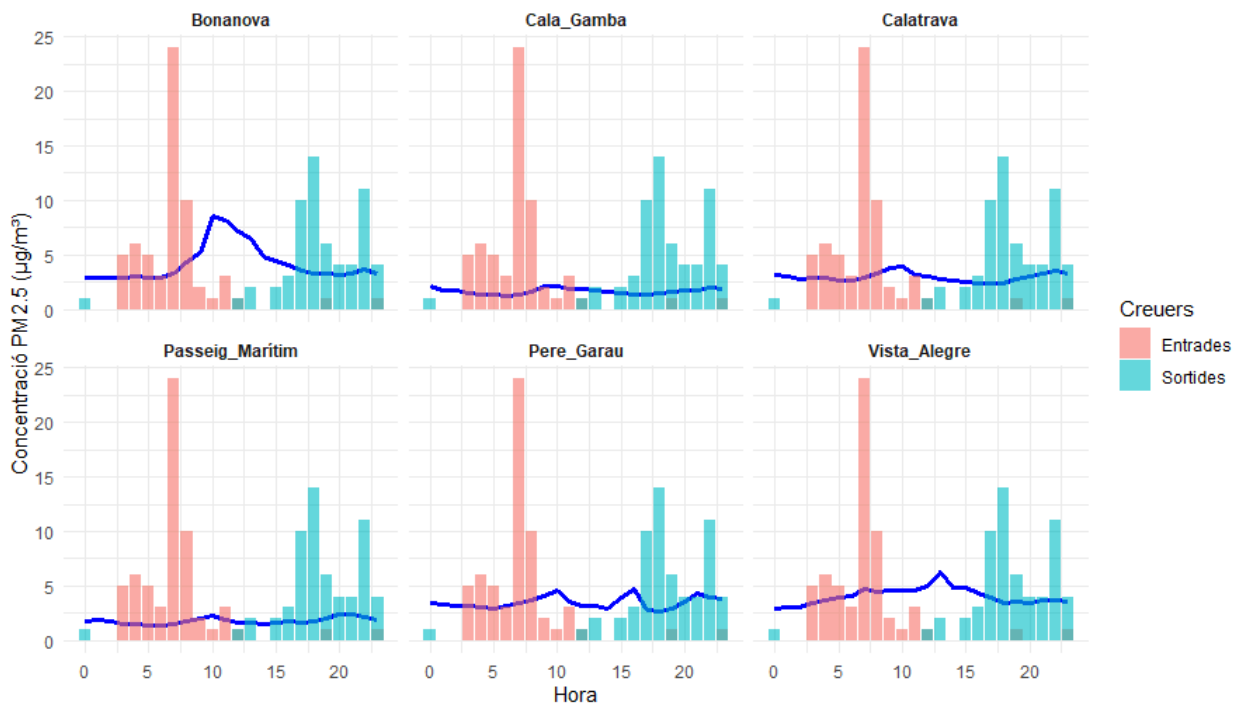
Setembre - PM2.5



Setembre - PM10



Octubre - PM2.5



Octubre - PM10

