

**Quaderns sobre turisme de creuers. Núm. 1.**

**1r Informe de resultats de la Xarxa Ciutadana de Monitoratge de la  
Qualitat de l'Aire**

**Juny 2023**

Resum executiu .....	3
1. Introducció i marc legal .....	6
2. Metodologia .....	9
3. Resultats.....	13
3.1. Trànsit marítim durant el període d'estudi .....	13
3.2. Anàlisi de les emissions per estacions. ....	14
3.2.1. La Bonanova.....	14
3.2.2. La Calatrava.....	26
3.2.3. Passeig Marítim .....	33
3.2.4. Pere Garau.....	38
4. Conclusions .....	43

# Resum executiu

## Context i justificació

Les problemàtiques derivades de la massificació de creuers turístics que amarren a les ciutats portuàries del Mediterrani existeixen des de fa temps, i com a tal, ve de lluny la seva anàlisi i observació.

La presència d'aquests vaixells a port presenta una sèrie d'impactes a nivell ambiental, social i econòmic, que acaben afectant la població resident. A la ciutat de Palma (quarta ciutat europea amb uns nivells de contaminació més alts derivats d'aquesta activitat segons l'informe 2023 de *Transport & Environment*) la Plataforma contra els Megacreuers va posar en marxa, a l'estiu del 2022, una Xarxa Ciutadana de Monitoratge de la Qualitat de l'Aire amb la instal·lació de sensors a diferents punts de la ciutat. Aquesta xarxa permet el monitoratge de les concentracions de PM2.5 i PM10, partícules en suspensió de mides menors a 2.5 i 10 micres respectivament que estan relacionades amb la combustió dels combustibles utilitzats per aquests creuers i associades a diferents complicacions de la salut pública.

Un any després de la posada en marxa de la Xarxa Ciutadana, es presenta el primer Informe de Qualitat de l'Aire en el qual s'exposen els resultats obtinguts de l'anàlisi de les mesures registrades en el període Juny 2022 – Maig 2023, i es relacionen i comparen amb la presència de vaixells al port de Palma, fenòmens ambientals com entrades de pols sahariana i amb els límits establerts per la Directiva Europea 2008 / 50 / CE i la Organització Mundial de la Salut. Amb això es busca que aquest informe marqui un protocol d'anàlisi de les dades obtingudes a partir d'aquesta Xarxa Ciutadana, i que els resultats extrets serveixin per contrastar els provinents de la xarxa instal·lada per l'Autoritat Portuària.

## Resultats

Segons les dades oficials de tràfic al port de Palma, l'activitat de creuers es concentra especialment en els mesos del període estival, és a dir, entre abril i octubre. En el cas d'aquest informe, els períodes amb un major tràfic de creuers s'ha donat entre juny-octubre de 2022 i abril-maig 2023. El mes d'octubre de 2022 ha presentat una activitat més intensa, amb 85 entrades registrades, seguit dels mesos de maig 2023, juliol 2022 i setembre 2022.

Dins del dia, a la majoria de mesos analitzats el gruix de les entrades es concentra en les hores de matí, entre les 5h i les 10h, mentre que les sortides es troben

més repartides, especialment en el cas dels creuers turístics. La resta de vaixells, com ferris o mercants, presenten un màxim de sortides entre les 10h i les 13h. De tots els sensors instal·lats per la Plataforma, el que ha captat millor la influència de l'activitat portuària en les seves lectures de PM2.5 i PM10 ha estat el de la zona de la Bonanova, que registra les mitjanes màximes de PM2.5 i de PM10 pels mesos d'agost i d'octubre, respectivament. Al llarg del mes d'agost, amb 52 entrades de creuers registrades, entre les 10h i les 13h se superen de forma consistent els límits establerts per la UE i la OMS per les PM2.5. En el cas del mes d'octubre, les entrades de pols saharià entre el dia 16 i el 31 afecten a les concentracions mesurades, emascarant la periodicitat en la contaminació entre les 11h i les 14h per les PM10, amb el pic a les 13h. Aquesta és més discreta que la que presentava el mes d'agost, donat que a l'octubre la presència de creuer a port és molt més constant al llarg del dia, el que fa que hi hagi contaminació per PM10 a totes hores. Per la segona quinzena d'octubre, s'han superat de forma constant a les 10h els límits de la OMS per PM10. Al mes de juliol (57 entrades de creuers) se superen les concentracions màximes establertes per la UE a les 12:00h per les PM2.5, i les establertes per l'OMS entre les 11h i les 13h, mentre que al mes de setembre se superen els límits de l'OMS per les PM2.5 entre les 11h i les 13h i per les PM10 a les 12h.

Aquests pics en la contaminació coincideixen amb la sortida dels ferries i mercants, així com amb el temps d'estada dels creuers turístics a port, que presenten el 72.9% de les seves entrades abans de les 8h del matí, i es queden a port una mitjana de 12.89 hores. Aquests segueixen cremant combustíble quan estan amarrats per mantenir tots els sistemes en marxa, afectant a la població de les zones properes. Això s'agreuja donat l'augment de la radiació solar i temperatura al llarg de les hores centrals del dia, que s'ha comprovat que pot fer que la contaminació quedi acumulada a les zones urbanes, tot i que caldria incloure aquests elements en l'anàlisi per a confirmar-ho.

Per una altra banda, el sensor de la Calatrava també ha registrat un increment de la contaminació per PM2.5 entre les 9h i les 14h pel mes d'octubre, superant les recomanacions de l'OMS entre les 12h i les 13h, si bé les lectures han estat més baixes que al sensor de la Bonanova. De nou al mes d'octubre, per les PM10 les conclusions extretes són les mateixes que al sensor de la Bonanova, trobant les entrades de pols saharià a la segona quinzena, que fan que en aquesta franja se superin els límits de la OMS per aquestes partícules a les 12h i les 13h.

Tant el sensor de Passeig Marítim, com el de Pere Garau, presenten valors de contaminació més baixos que la Bonanova i la Calatrava, i cap dels dos presenta cap relació entre la contaminació registrada i la presència de creuers. En el cas de Passeig Marítim, això pot fer pensar que la seva ubicació no és la millor per

captar aquesta contaminació, donats factors ambientals que no s'estan tenint en compte en aquest anàlisi, com corrents de vent dominants. En el cas de Pere Garau, aquesta diferència es pot atribuir a la llunyania a port.

Vista la situació a Palma, aquest estudi ens ha servit per llençar un projecte més ambiciós a nivell europeu, en el que col·laborarem amb altres socis internacionals per tal d'establir una xarxa ampliada de sensors de més qualitat a diferents ciutats portuàries europees, amb una primera fase a Venècia i El Pireu. Amb això busquem establir vincles de cooperació amb territoris que pateixen les mateixes problemàtiques i establir unes bases que permetin una millor regulació de l'activitat creuerística, de forma que ens encaminem cap a un model de turisme més sostenible.

## 1. Introducció i marc legal

Segons el Parlament Europeu, la contaminació atmosfèrica representa el major risc per a la salut a la Unió Europea i és causa de malalties cròniques i mortalitat prematura<sup>1</sup>, tenint també efectes adversos en els ecosistemes.

La matèria particulada (micropartícules o PM) és un dels contaminants atmosfèrics més nocius per a la salut humana. Tant les PM<sub>10</sub> (matèria particulada inferior a 10 µm) com les PM<sub>2,5</sub> (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 creuers<sup>2</sup>. El *heavy fuel oil*, que és com es coneix a aquest combustible, 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. Per tant, segueixen produint emissions de partícules PM<sub>2.5</sub> i PM<sub>10</sub>, així com altres compostos nocius per la salut (com NO<sub>x</sub> i SO<sub>x</sub>, 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'altres<sup>3</sup>, especialment en el cas de les PM<sub>2.5</sub>, 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 PM<sub>10</sub> i PM<sub>2.5</sub> es troba regulada en l'àmbit europeu.

La legislació referent a les concentracions de partícules contaminants a l'aire ve donada actualment per la combinació de dues Directives de Qualitat de l'Aire, la Directiva 2008/50 relativa a la qualitat de l'aire, i la 2004/107 de la Comissió Europea 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 PM<sub>10</sub>. Aquesta mateixa

---

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

<sup>2</sup> NABU, 2017. "Air pollution from cruise ships"

<sup>3</sup> American Lung Association.

directiva, juntament amb la 2004/107/CE també crea el marc legal per les PM2.5.

<sup>4</sup>Per a les PM10, s'estableix un VLA (Valor Límit Anual) d'una mitjana de 40 µg / m<sup>3</sup>, i un VLD (Valor Límit Diari) de 50 µg / m<sup>3</sup>, que pot ser superat com a màxim en 35 ocasions en tot l'any i es calcula realitzant la mitjana diària. Per les PM2.5, s'estableix un Valor límit Anual de 25 µg / m<sup>3</sup> en una primera fase a complir abans del 2015 i de 20 µg / m<sup>3</sup> abans del 2020.

Juntament a aquestes, la Directiva 2016/2284 parla sobre la reducció de les emissions de certs contaminants, entre els que 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 2015/1480 complementa diversos annexes de les dues directives principals, en quant a recomanacions per punts de referencia, validació de dades i ubicació de punts de mostreig per les PM2.5 i les PM10.

Contaminant	Font d'informació	Període d'anàlisi	Valor
PM10	Normativa europea (Reial Decret 102/2011 de 28 de gener)	Límit anual	40 µg/m <sup>3</sup>
		Mitjana diària	50 µg/m <sup>3</sup> (pot ser superat 35 vegades a l'any)
	OMS	Mitjana anual	20 µg/m <sup>3</sup>
PM2.5	Normativa europea (Reial Decret 102/2011 de 28 de gener)	Límit anual (Fase 1)	25 µg/m <sup>3</sup>
		Límit anual (Fase 2)	20 µg/m <sup>3</sup>
	OMS	Mitjana anual	10 µg/m <sup>3</sup>

Taula d'elaboració pròpia

L'Organització Mundial de la Salut (OMS) estableix uns límits més restrictius, en forma de recomanacions o guia, tant per les partícules PM10 com PM2.5. L'OMS recomana que els valors mitjans anuals de les concentracions a l'aire urbà no superin els 20 µg / m<sup>3</sup> en el cas de les PM10 i els 10 µg/m<sup>3</sup> per les PM2.5 de mitjana anual.

<sup>4</sup> <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/particulas.html>

Tot i comptar amb aquesta regulació<sup>5</sup>, segons l'Informe de Qualitat de l'Aire de la Agència Europea del Medi Ambient (EEA)<sup>6</sup>, l'exposició a concentracions de contaminants per sobre dels nivells recomanats per l'OMS va provocar, al 2022, un nombre significatiu de morts prematures a la UE, amb 238.000 morts atribuïdes a les PM2.5. Els rebasaments dels màxims establerts encara són freqüents i la majoria de les poblacions urbanes de la UE encara es troben exposades a nivells de contaminació de l'aire que suposen un risc per a la salut.

A 2021, el 97% de la població urbana estava exposada a concentracions de PM2.5 per sobre dels nivells recomanats per la OMS<sup>7</sup>. Segons la Comissió de Medi Ambient del Parlament Europeu, la major part de la població de la Unió Europea estima l'acció pública com a insuficient per promoure una bona qualitat de l'aire i més del 70% de la població espera que la UE proposi mesures addicionals<sup>8</sup>.

A escala local, segons l'informe de Transport & Environment<sup>9</sup> 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 Megacreuers 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 amb quatre sensors ubicats a la façana marítima de Palma, els resultats dels quals exposem a continuació.

---

<sup>5</sup> [Premature deaths due to air pollution continue to fall in the EU, more efforts needed to deliver a toxic-free environment — European Environment Agency \(europa.eu\)](#)

<sup>6</sup> [Premature deaths due to air pollution continue to fall in the EU, more efforts needed to deliver a toxic-free environment — European Environment Agency \(europa.eu\)](#)

<sup>7</sup> [Europe's air quality status 2023 — European Environment Agency \(europa.eu\)](#)

<sup>8</sup> Informe sobre la aplicación de las Directivas sobre la calidad del aire ambiente [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0037\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0037_ES.html)

<sup>9</sup> Transport & Environment. (2023). The Return of the Cruise.



## 2. Metodologia

### 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<sup>10</sup>. 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 disposa de 4 sensors en funcionament instal·lats en diferents punts de la ciutat de Palma: un a la zona de la Bonanova (39,553 , 2,622), un a la zona de la Calatrava (39,565 , 2,654), un al Passeig Marítim (39,564 , 2,628) i un últim a la zona de Pere Garau (39,575 , 2,666). Els tres primers es troben ubicats a primera línia marítima, més exposades a les emissions originades a l'entorn del port i la badia, mentre que el sensor de Pere Garau, que es troba enmig de la ciutat, actua com a sensor control per a validar les tendències.

Aquests sensors van ésser instal·lats a inicis del mes de setembre de l'any 2022, excepte en el cas del sensor de la Bonanova que va ser instal·lat a principis de juny del 2022. Per tant la sèrie temporal analitzada serà per tots els sensors entre setembre 2022 i maig 2023, excepte per la Bonanova que serà de juny 2022 a maig 2023. Aquest últim ens permet veure quines han estat les tendències de contaminació en els mesos de més influència turística com són els d'estiu, pel que serà especialment útil i li donarem prioritat. Per la resta de sensors, serà important mantenir el seguiment d'aquests i realitzar un nou

---

<sup>10</sup> <https://sensor.community/es/>

anàlisi un cop tinguem dades dels mesos d'estiu, per tal de poder contrastar els resultats obtinguts.



*Figura 2: Mapa amb la distribució dels sensors de la Xarxa Ciutadana de Monitoratge de la Qualitat de l'Aire. Elaboració pròpia.*

## Mètodes d'estudi

Pel que fa a l'anàlisi de les dades dels sensors, el primer que es farà és veure quins han estat els mesos en que la contaminació mitjana per PM2.5 i PM10 ha estat més elevada de tot el període d'estudi. També s'obtingran les dades històriques d'entrada i sortida d'embarcacions al port de Palma, i es compararà per veure si els mesos de més contaminació mitjana corresponen als que també tenen més tràfic de creuers. Les mitjanes es calculen a partir de dues observacions diàries, una a les 2:00h i una altra a les 14:00h. En el cas que el sensor presenti observacions no disponibles ("NA values"), aquests seran eliminats a l'hora de fer els càlculs.

Les mesures mensuals es representaran amb un “boxplot” o diagrama de caixa, que consta de les següents parts:

1. Els “bigotis” superiors i inferiors del diagrama, que representen el rang en que es troben totes les observacions realitzades per al mes en qüestió.
2. Els punts negres que apareixen a sobre dels diagrames representen mesures registrades fora del rang d’aquestes dades, en moments puntuals, i es coneixen com *outliers*.
3. La línia que apareix just enmig del diagrama de caixa és la mediana (o el segon quartil), que és el valor que es troba just enmig de la sèrie de dades.
4. El límit superior de la caixa és el tercer quartil, que s’anomena així per tenir tres quartes parts de les dades per sota seu, mentre que el límit inferior és el primer quartil, que s’anomena així per tenir-ne només un quart.

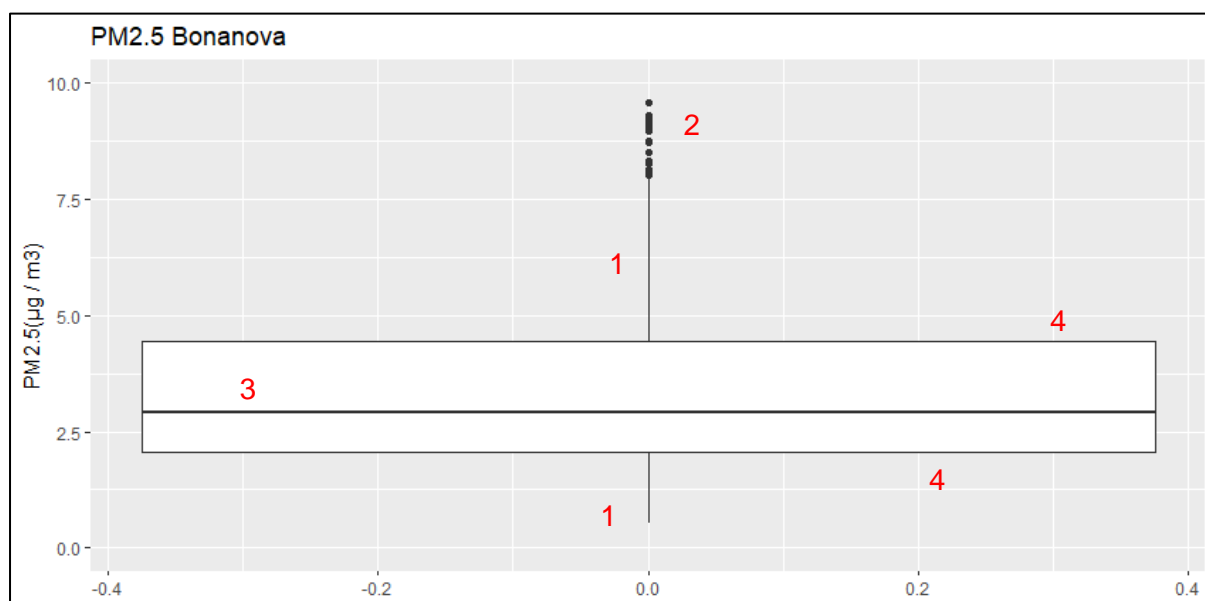


Figura 2: Boxplot d'exemple. Elaboració pròpia.

A més de comparar les mitjanes de contaminació de PM2.5 i PM10 de cada mes entre si per cada un dels sensors, també es compararà amb els límits establerts anuals per la Unió Europea a través de la directiva 2008/50/CE i les recomanacions de l'OMS, que apareixeran com unes línies puntejades de color blau i vermell respectivament dins del gràfic.

Un cop fet això, es triaran els mesos que presentin unes mitjanes de contaminació més significatives per les PM2.5 i les PM10 per cada un dels

sensors i es farà un anàlisi més en profunditat de cada un d'ells de forma conjunta i separada, per veure tendències, valors màxims, etc.

També es contrastaran les dades amb possibles factors ambientals que estiguin afectant a la presència d'aquestes partícules, com ara entrades de pols sahariana, per tal de fer l'anàlisi el més robust possible (dades obtingudes de CAIB<sup>11</sup>).

A més, per a aquests mesos amb nivells més alts s'analitzarà la tendència diària, agafant la concentració mitjana de PM2.5 i per PM10 per cada hora del dia.

Aquestes anàlisis es realitzaran per cada un dels sensors (Bonanova, Calatrava, Passeig Marítim i Pere Garau). En el cas del sensor de la Bonanova, al ser el sensor que presenta una major influència portuària, aquest mateix anàlisi també es farà per el segon i el tercer mes amb més contaminació de PM2.5 i PM10.

Finalment, a partir de l'històric de dades oficial d'Autoritat Portuària, es compararà la densitat d'entrades i sortides de vaixells i la presència de creuers a port al llarg dels mesos on s'ha vist que les mitjanes de contaminació han estat més altes, utilitzant el seu sumatori per a cada hora del dia dins del mes. Dins d'aquest anàlisi es comentaran les diferències en les entrades i sortides entre creuers i altres tipus de vaixells per tal de detectar la diferent influència en termes de contaminació entre els diferents tipus de bucs.

---

<sup>11</sup> <https://www.caib.es/sites/atmosfera/ca/taula> actualitzada dels darrers episodis ocorreguts a les illes balears-3215/

## 3. Resultats

### 3.1. Trànsit marítim durant el període d'estudi

A la **Figura 3** veiem com la presència de vaixells al port de Palma presenta una estacionalitat marcada. Especialment, veiem com els creuers turístics tenen més presència a port durant els mesos d'estiu, entre abril i octubre, període en el qual es donen 413 entrades, que corresponen a un 81,7% de les registrades en tot l'any. En canvi, si considerem tots els vaixells en conjunt, sense tenir en compte específicament els creuers, les entrades a port tenen una distribució mensual molt més uniforme.

El mes que presenta el màxim d'entrades de creuers és el mes d'octubre 2022, amb 85 entrades totals registrades, i el que presenta el mínim és febrer 2023, amb 11. En general, la majoria de mesos presenten el màxim de les entrades de creuers a port durant les hores del matí (a partir de les 5h) mentre que les sortides es troben molt més repartides al llarg de la jornada. Agafant com a referència els mesos d'octubre i agost, un creuer va estar amarrat a port una mitjana de 12.89 hores, temps al llarg del qual segueix emetent substàncies contaminants a l'atmosfera per mantenir tots els sistemes d'a bord en marxa, i afectant les poblacions properes.

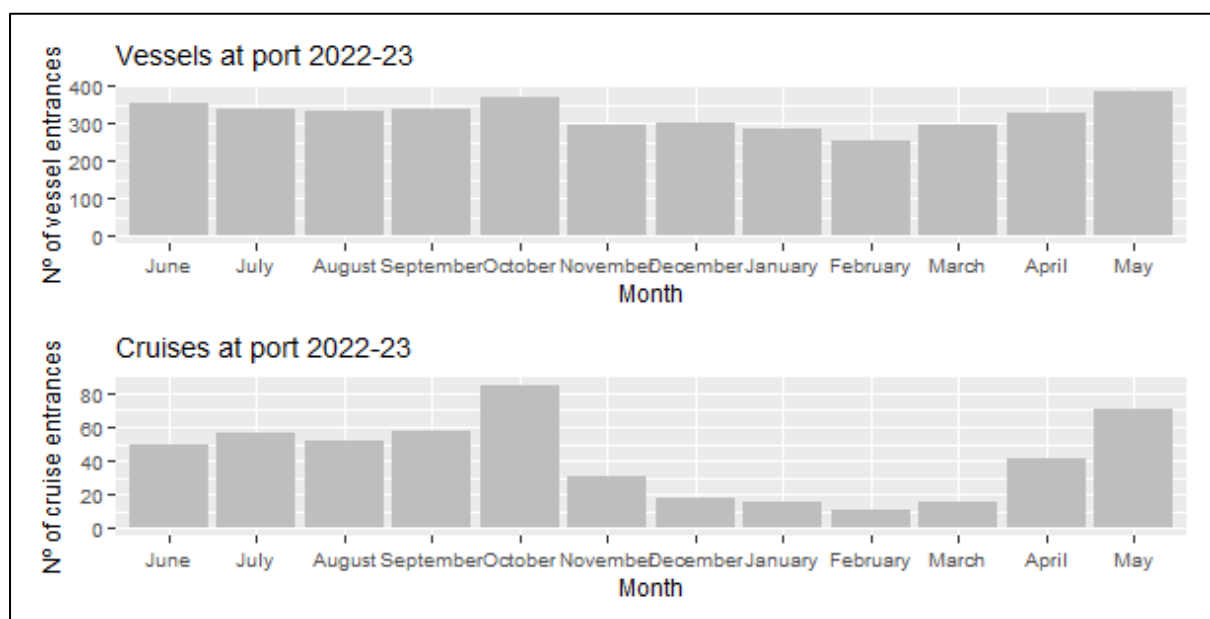


Figura 3: Tendència d'entrada de vaixells i de creuers al port de Palma desglossat per mesos entre el 2022 i el 2023. Dades obtingudes de l'Autoritat Portuària de Balears (APB).



## 3.2. Anàlisi de les emissions per estacions.

### 3.2.1. La Bonanova

#### Anàlisi anual i mensual

La sèrie temporal analitzada en el cas del sensor de la Bonanova ha estat juny 2022-maig 2023, el que ens permet tenir la referència d'un any sencer i relacionar amb les èpoques de més turisme.

Després d'eliminar les mesures no disponibles realitzades pels sensors (per motius tècnics, com errors en la connexió Wifi) els mesos amb un menor nombre d'observacions han resultat ser abril i febrer, amb 16 i 17 observacions respectivament.

Les **Figures 4 i 5** presenten els gràfics realitzats a partir de les observacions de PM2.5 i PM10 respectivament per cada un dels mesos al sensor de la Bonanova:

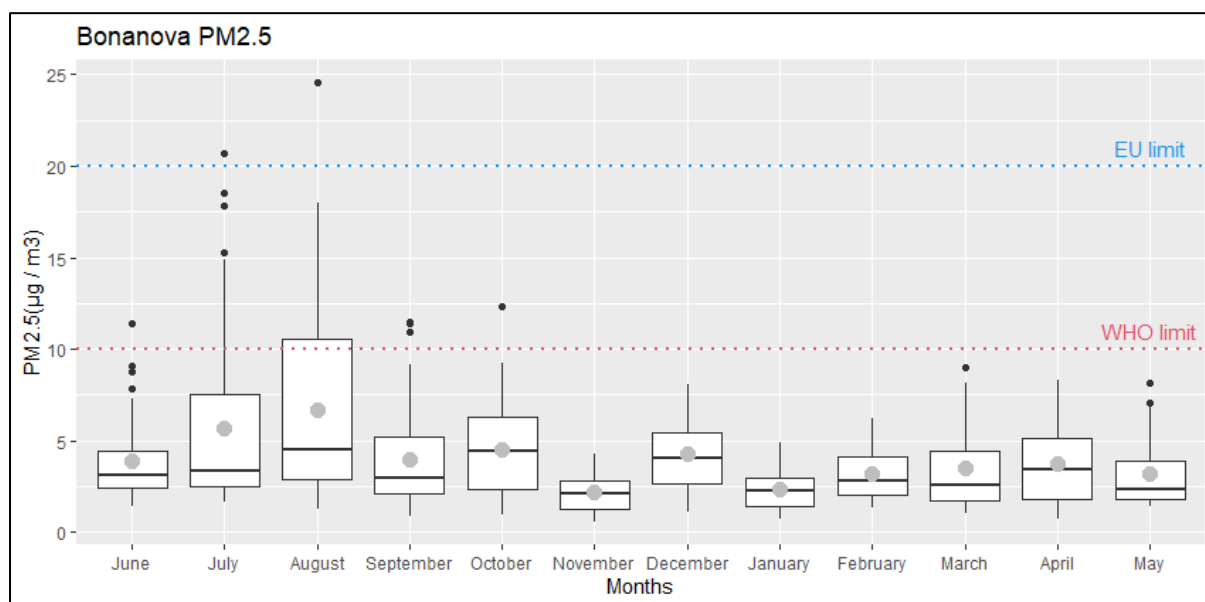


Figura 4: Diagrames de caixa que mostren les mitjanes per mes de  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de PM2.5 mesurades pel sensor instal·lat a la Bonanova entre juny 2022 - maig 2023.

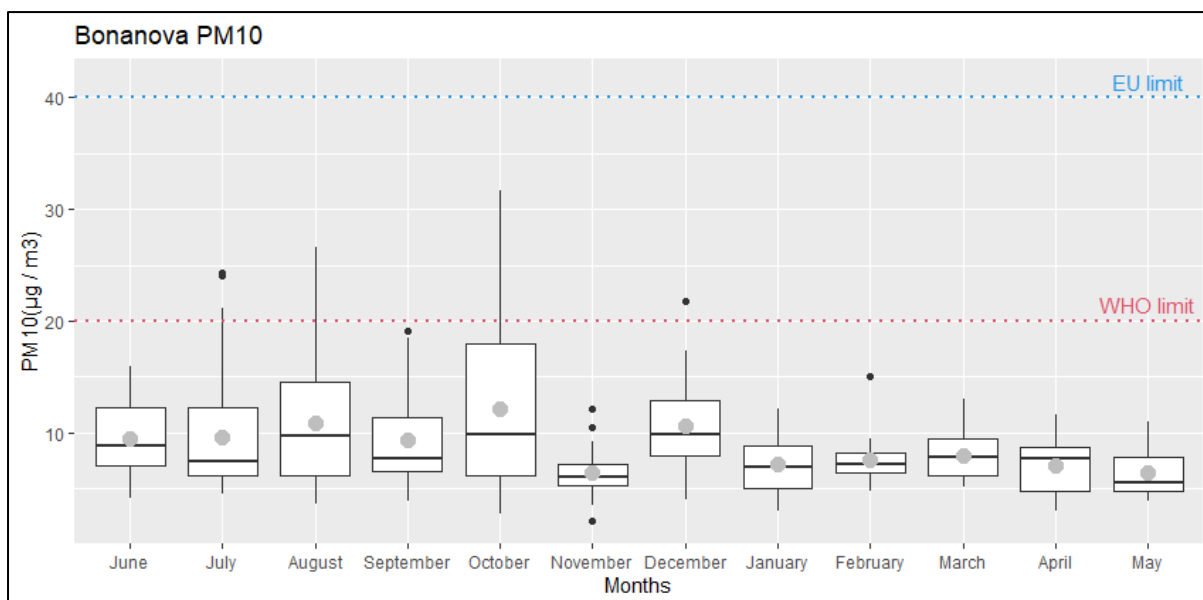


Figura 5: Diagrames de caixa que mostren les mitjanes per mes de  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de PM10 mesurades pel sensor instal·lat a la Bonanova entre juny 2022 - maig 2023.

En primer lloc, les observacions realitzades pels sensors per cada un dels mesos estan, en la majoria dels casos, dins dels límits anuals de la OMS i de la UE, tant per les PM2.5 com les PM10, tret de observacions puntuals representades pels *outliers*.

Si calculem la mitjana de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per cada un dels mesos, ens surt que per les PM2.5, la més alta és al mes d'agost amb  $6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i per les PM10 al mes d'octubre, amb  $12,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aquests també han estat els mesos amb els estadístics de variabilitat més elevats, amb una desviació estàndard de  $\pm 5,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  al mes d'agost i de  $\pm 7,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  al mes d'octubre, donat que són els que han cobert un rang més gran de dades. Això es degut als pics tan elevats que trobem en comparació amb la resta de mesures a hores puntuals del dia, i que tractarem més endavant. Els següents mesos amb més contaminació mitjana per PM2.5 han estat juliol i octubre amb  $5,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i  $4,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , i per PM10 agost i desembre, amb  $10,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i  $10,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aquests valors també es troben dins dels límits establerts per la legislació, i són semblants als presentats a l'Informe de Qualitat de l'Aire realitzat per l'Autoritat Portuària de Balears. Destacar que, amb l'excepció de desembre (que només presenta 18 escales registrades), tots els mesos que han presentat els valors mitjans més alts de contaminació estan compresos dins del període estival i per tant amb més presència de creuers. A primera vista veiem com si que sembla que un major

nombre de creuers pot implicar una mitjana de contaminació més alta en termes generals.

A continuació analitzarem la distribució d'aquestes observacions de contaminació al llarg dels mesos d'agost per les PM2.5 i d'octubre per les PM10 (**Figura 6**), els dos mesos amb les mitjanes més altes.

En el cas de les PM2.5, veiem que els valors més alts es van registrar de forma més dispersa amb més variabilitat, al llarg de la primera quinzena del mes, trobant un petit forat en les dades en que no tenim observacions disponibles entre les 16:00 h del dia 31 i les 7:00 h del dia 3. La mitjana de contaminació per PM2.5 a l'agost és de 8,915  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  entre les dies 1 i 15, mentre que entre els dies 16 i 31 és de 4,587  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mostrant una tendència de reducció de la contaminació per PM2.5 al llarg del mes. Tot i això, cal destacar les múltiples lectures altes registrades al llarg de la primera quinzena, que han estat en molts casos superiors a les 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (triplicant els valors màxims legals de contaminació per aquestes partícules). Aquestes sempre es donen a les hores al voltant de les 12:00 h del migdia, essent la lectura màxima dia 6 a les 12:00 h, amb un valor de 75,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En el cas de les PM10, és al contrari, i veiem que durant el mes d'octubre hi ha hagut un increment en els valors de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM10 registrats amb el temps. En aquest mes trobem dos forats importants en la sèrie de dades, el primer entre els dies 12 a les 23:00 h i el 17 a les 16:00 h, i el segon del dia 27 a les 19:00 h al final del mes. Tot i això, tenim prou observacions disponibles com per veure que la tendència ha estat creixent al llarg del mes, tenint una mitjana de 6,740  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  la primera quinzena i de 17,995  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  la segona. A l'hora de realitzar el càlcul de la mitjana al llarg de la segona quinzena, no s'ha tingut en compte la lectura puntual del dia 26/10 a les 10:00 h que arriba a un màxim de 92,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  donat que és una lectura aïllada que no sembla ser coherent amb la resta de mesures, i per tant es considera un *outlier*. Aquest augment a la segona quinzena del mes és degut a les entrades de pols sahariana que hi ha registrades entre els dies 16 i 31, que afecten a les concentracions registrades pel sensor. Mentre que les concentracions altes de PM2.5 solen venir més associades a la crema de



combustibles fòssils, les PM10 poden provenir també d'orígens naturals terrígens, com és aquest cas.

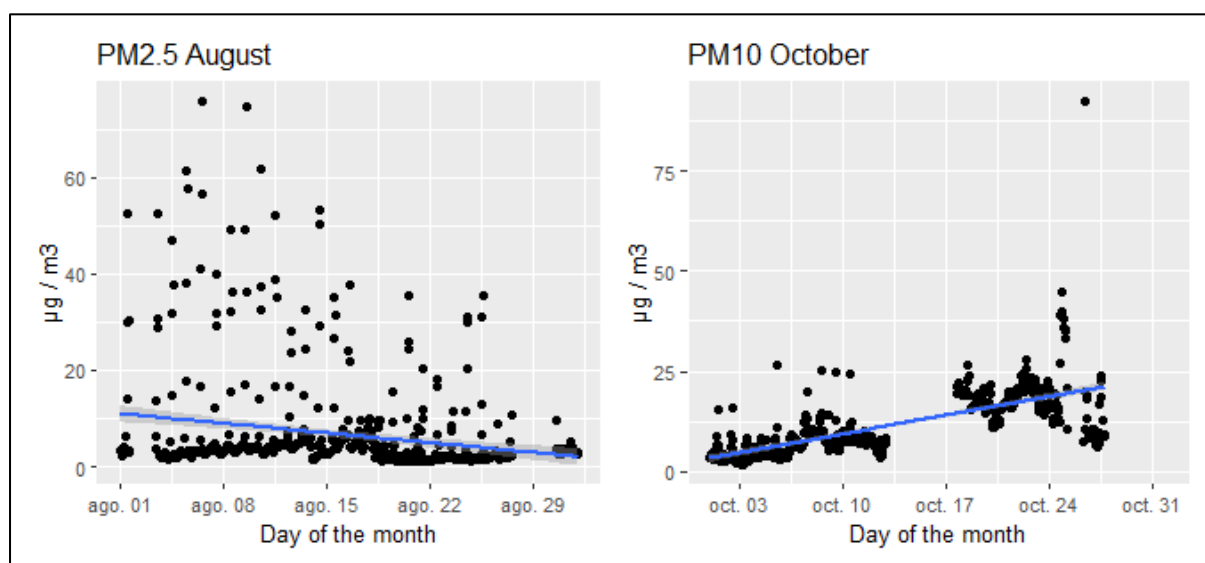


Figura 6: Evolució de les observacions diàries per PM2.5 al mes d'agost i de PM10 al mes d'octubre.

Els resultats de l'anàlisi de la distribució de la contaminació mitjana per hora al llarg de la jornada dels mesos d'agost per les PM2.5 i d'octubre per les PM10 es presentaran per apartats. Aquestes dades s'han comparat amb el sumatori de la presència de creuers a port per hora per aquests dos mesos.

### Anàlisi diari PM2.5

Veiem com entre les 10h i les 13h al mes d'agost es dona un augment de les concentracions mitjanes de PM2.5 que superen els límits establerts per l'OMS i la UE (**Figura 7**). A les 10h també se supera lleugerament el límit establert per la OMS. Entre les 10h i les 13h s'ha registrat una mitjana de PM2.5 de 22,74 µg/m<sup>3</sup>, el que supera per molt la mitjana mensual presentada anteriorment de 6,7 µg/m<sup>3</sup>.

Relacionant-ho amb la presència de creuers al port de Palma, veiem que aquesta també augmenta en les hores centrals del dia, concretament entre les 8h i les 17h, arribant a un sumatori de 51 a les 15, 16 i 17h al mes d'agost. Entre les 4h i les 10h es donen el 42% del total d'entrades de creuers a port del dia.

En canvi, durant les hores nocturnes les lectures del sensor presenten nivells molt baixos, i és el motiu pel qual la mitjana total diària és baixa quan agafem

les 24 hores. La presència de creuers a port també es menor durant aquestes hores, mantenint-se a menys de 5 entre les 0h i les 4h.

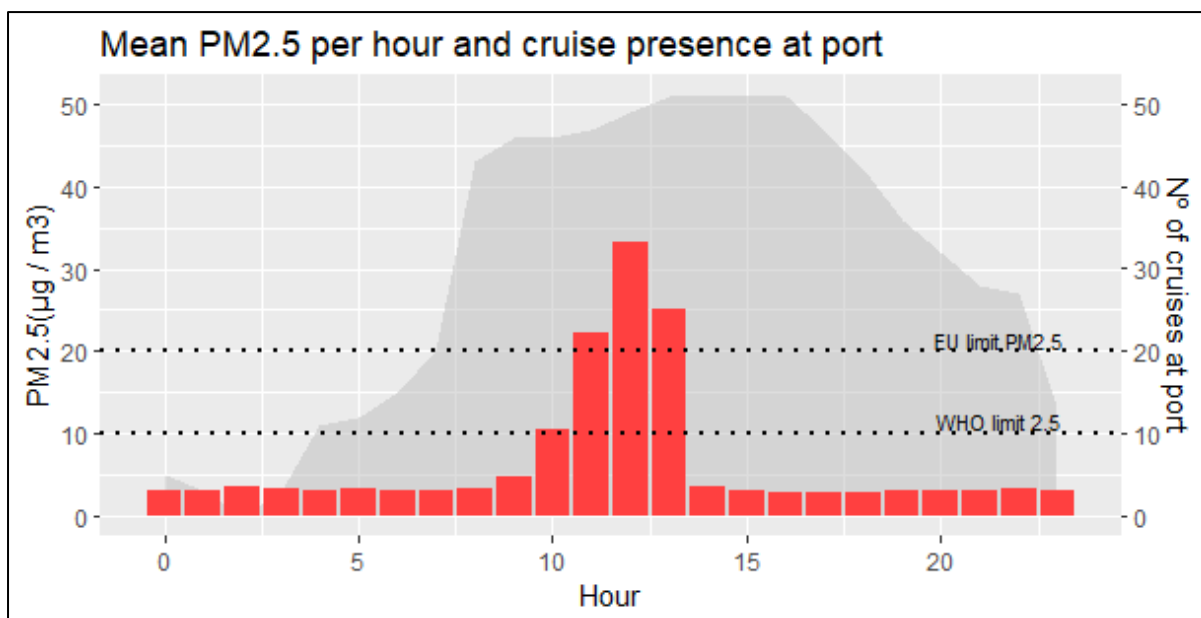
Per tant, l'augment de la concentració de PM<sub>2.5</sub> registrada entre les 10h i les 13h mostra una relació clara amb el major nombre de creuers a port. Aquesta contaminació en les hores centrals del dia afecta especialment a les zones properes a la Bonanova on es troba el sensor, donat que estudis mostren com una major radiació solar pot provocar la formació d'inversions tèrmiques, que limiten la dispersió dels contaminants<sup>12</sup>. A més, una major radiació també pot promoure la formació de PM<sub>2.5</sub> de forma secundària a l'atmosfera a través de processos químics complexos, quan d'altres contaminants que emeten els creuers (com els òxids de sofre i de nitrogen) reaccionen amb la llum solar<sup>13</sup>.

Es pot extreure com una de les conclusions d'aquest anàlisi que el càlcul de la mitjana diària pot resultar ser insuficient alhora de mesurar la contaminació de PM<sub>2.5</sub> al llarg del dia, i donar una falsa sensació de seguretat. Hem vist com tot i que la mitjana diària de µg/m<sup>3</sup> no superi els límits aparentment, entre les 10h i les 13h si que s'arriben a valors de contaminació que poden resultar perillosos i tenir efectes en la salut pública segons la OMS, i superar els límits legals de la UE. Per tant, cal que els estudis realitzats sobre qualitat de l'aire, es duguin a terme de forma concisa i presentin anàlisis més detallats que donar un simple valor mitjà diari, alhora que inclouen elements ambientals com les entrades de pols sahariana i d'altres que no es tenen en compte en aquest estudi (com corrents de vent dominants, temperatura, radiació, etc).

---

<sup>12</sup> Wallace J et al., 2010. Topographic and spatial impacts of temperature inversions on air quality using Mobile air pollution surveys. *Science of the total environment* 408(21) 5086-5096.

<sup>13</sup> Griffin J et al., 2013. The sources and impacts of Tropospheric Particulate Matter. *Nature Education Knowledge* 4(5): 1.



*Figura 7: Distribució de la contaminació mitjana per PM2.5 al llarg del dia durant el mes d'agost, comparant amb la presència de creuers a port.*

### Anàlisi diari PM10

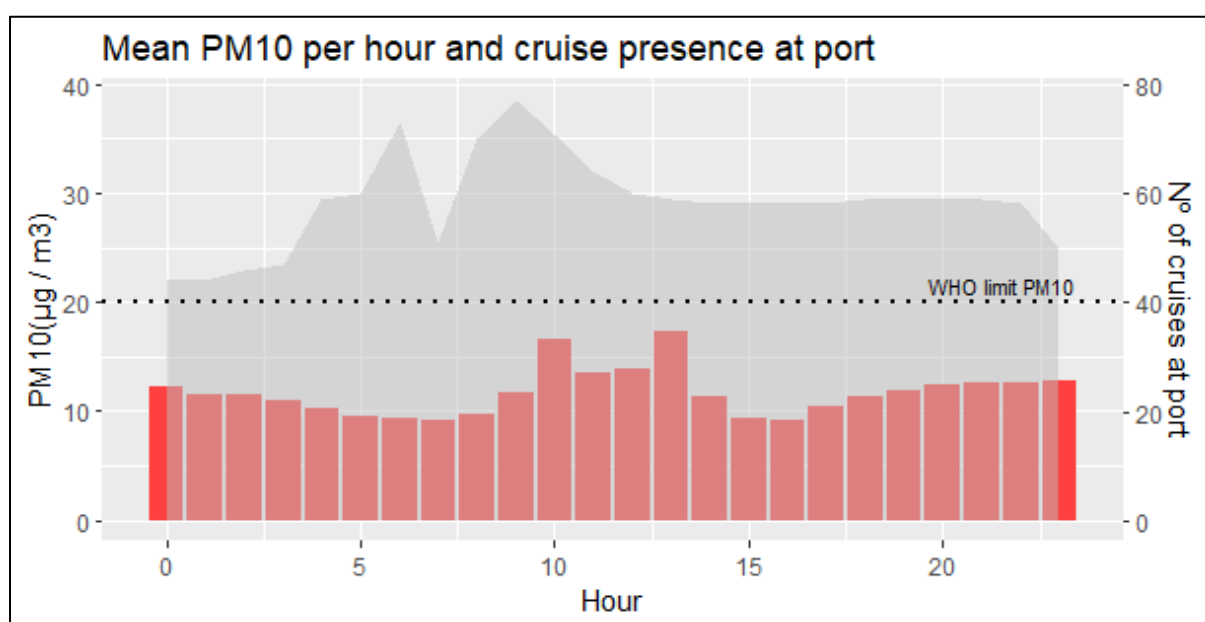
Per les PM10 al mes d'octubre, aquesta periodicitat existeix en menor grau (**Figura 8**), essent la mitjana diària de 11,73 µg/m<sup>3</sup>, però els valors mesurats entre les 10h i les 13h, que presenten una mitjana de 15,32 µg/m<sup>3</sup>, aquest cop no arriben a superar els límits establerts. En conseqüència la variabilitat en les mesures també ha estat més baixa que la que presentaven les PM2.5 a l'agost pel mateix sensor. Tot i això, entre les 10h i les 13h es quan es torna a donar el màxim de contaminació, amb el pic a les 13h amb una concentració registrada de 17,29 µg/m<sup>3</sup> a aquesta hora del dia.

A nivell climàtic, aquesta menor periodicitat en la contaminació pot venir de una menor radiació solar a les hores centrals del dia al tractar-se d'un mes menys calorós (no ho podem assegurar donat que aquesta part no s'inclou en aquest anàlisi), així com d'altres efectes climàtics com les entrades de pols sahariana registrades a la segona quinzena del mes que la camuflen.

De cara al sumatori de la presència de creuers a port, aquesta ha estat molt constant al llarg del dia durant el mes d'octubre, que recordem que ha estat el mes on s'ha registrat el màxim d'escales de creuers de tot l'any. A totes les hores trobem una presència molt elevada de creuers, fins i tot a les hores nocturnes, essent el mínim de 44 creuers a la 0h i la 1h, i el màxim de 77 a les 9h, amb una desviació estàndard de ±8,63, molt més baixa que la de ±18,48 que trobàvem al

mes d'agost (el que indica una variabilitat molt menor). Entre les 0h i les 3h el sumatori de creuers a port es manté constant entre els 40 i els 50, per augmentar fins als 73 a les 6 del matí, que es quan es donen la majoria d'entrades. A les 7h n'hi ha hagut en total 51, per després augmentar fins a valors superiors als 70 entre les 8h i les 10h. A partir d'aquesta franja, el nombre de creuers cau fins al voltant dels 60, i ja es manté estable durant tota la tarda i la nit.

La baixa variabilitat en el nombre de creuers a port, comparat amb el mes d'agost explica la contaminació constant al llarg de tot el dia, donat que trobem creuers a port en tot moment que estan emetent PM10 a l'atmosfera.



*Figura 8: Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant el mes d'octubre, comparant amb la presència de creuers a port.*

A continuació s'analitzen les entrades de pols sahariana registrades al mes d'octubre, concretament entre els dies 16 i 31, per veure com afecten a les concentracions i la periodicitat de les PM10 en exclusiu registrades pel sensor, donat que, com s'ha comentat, són els nivells d'aquestes partícules més grans els que es veuen alterats per la pols ambiental.

Per a fer-ho, s'ha analitzat per separat la concentració de PM10 en la primera i la segona quinzena del mes per separat (**Figures 9 i 10**). Al mes d'agost també hi ha hagut registrades entrades de pols sahariana, però aquestes han estat menors i no s'han considerat prou rellevants com per alterar les dades i analitzar-les per separat (entre els dies 13 i 16 i dia 31).

En primer lloc veiem com la mitjana de concentració mesurada de PM10 a la primera quinzena del mes és més baixa (6,74 µg/m<sup>3</sup>) que la de la segona quinzena (18,34 µg/m<sup>3</sup>). La mitjana de 11,73 µg/m<sup>3</sup> de tot el mes és una combinació de les dues.

Això es tradueix en uns valors de PM10 registrats més elevats a totes les hores del dia a la segona quinzena, que afecten a les mitjanes mensuals. També camuflen l'augment de la contaminació a les hores centrals del dia que ja observàvem a les PM2.5, i que ara es veu amb claredat a la primera quinzena d'Octubre on no hi ha entrades de pols sahariana tot i que al mes d'octubre la periodicitat en la presència de creuers a port no es tan marcada com a l'agost. A la primera quinzena, el pic es dona a les 13h, i és de 15,84 µg/m<sup>3</sup>, que segueix sent més baix que el límit de la OMS, mentre que a la segona quinzena el pic en la contaminació es dona abans, a les 10h amb un valor més alt de 27,44 µg/m<sup>3</sup>, donada la combinació de la contaminació per creuers i la pols a l'atmosfera. Aquest segon sí que supera els límits de la OMS de 20 µg/m<sup>3</sup> per a aquestes partícules.

Vist aquest anàlisi, queda clar com les entrades de pols sahariana, tot i ser d'origen geològic i no estar limitades a la zona propera als ports, poden afectar a la concentració de PM10 a l'aire, i que tot i no arribar a ser perjudicials per si soles, sí que ho són al combinar-se amb la contaminació provinent de creuers en els moments de l'any en que aquesta és intensa com al mes d'octubre, arribant a superar els límits que garanteixen la seguretat sanitària de la població imposats per la OMS. Donat que aquestes entrades de pols són inevitables i formen part de la climatologia balear, és per tant important que en els moments de l'any en que aquestes es donin es reguli de forma més rigorosa la presència de creuers a port, per reduir l'aportació antròpica de PM10 a l'atmosfera, alhora que es manté aquest element present en els anàlisis de qualitat de l'aire realitzats. També és important veure com altres sensors fora de la zona d'influència de port registren aquestes entrades de pols, per tal de veure'n les diferències i l'efecte que hi tenen els creuers.

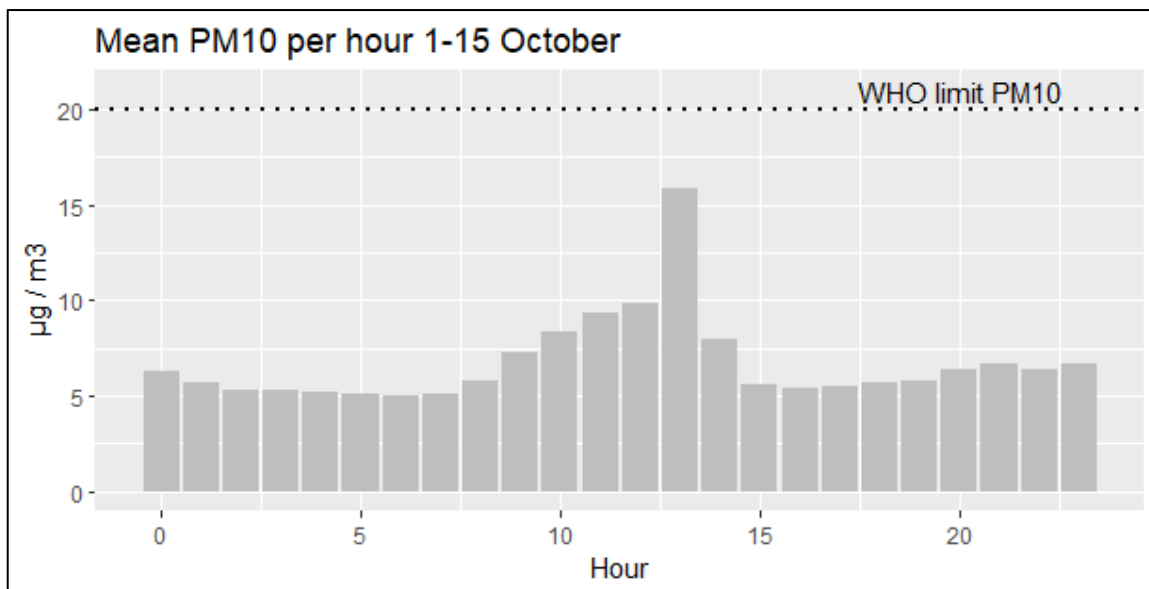


Figura 9: Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant la primera quinzena del mes d'Octubre.

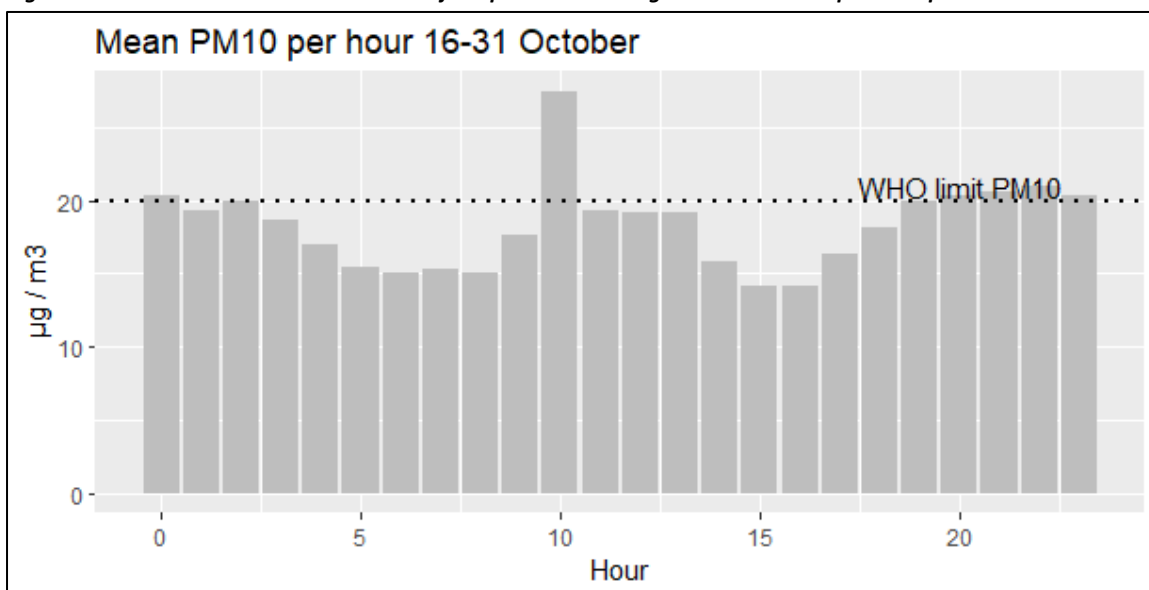


Figura 10: Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant la segona quinzena del mes d'Octubre.

### Anàlisi segon i tercer mes amb més presència de creuers (juliol i setembre)

Vistes les tendències tan marcades que mostren les dades obtingudes amb el sensor de la Bonanova, sobretot pel mes d'agost, s'ha decidit realitzar el mateix anàlisi per al segon i el tercer mes amb més presència de creuers a port, per tal de donar consistència i més validesa als resultats. Aquests són el mes de maig i el mes de setembre, amb 70 i 58 escales registrades. Donat que durant el mes de maig el sensor presenta problemes tècnics, i només dona mesures pels primers 14 dies, assumint que aquesta mostra no es representativa per tot el mes, s'ha decidit aplicar l'anàlisi pel quart mes amb més presència de creuers,

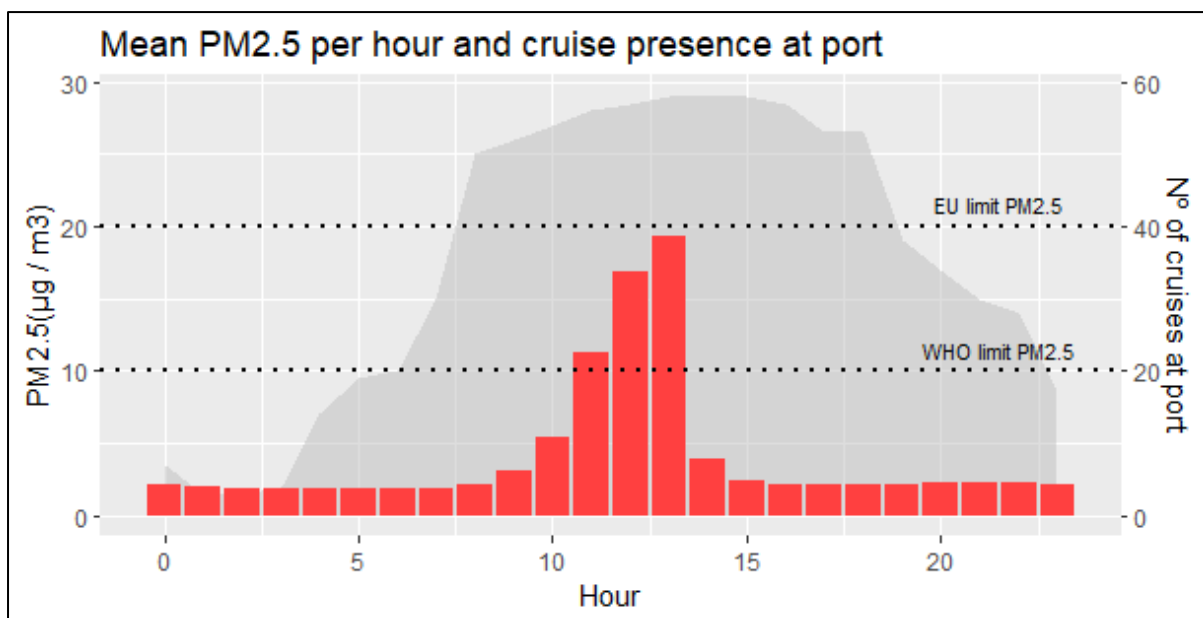
que seria Juliol amb 57. Juntament amb l'anàlisi realitzat per Agost, això ens permet tenir un anàlisi complet de 4 mesos dins l'època turística.

Les **Figures 11 i 12** mostren la periodicitat de les PM2.5 i PM10 respectivament contrastant amb la presència de creuers a port pel mes de setembre. Les **Figures 13 i 14** mostren el mateix anàlisi pel mes de Juliol.

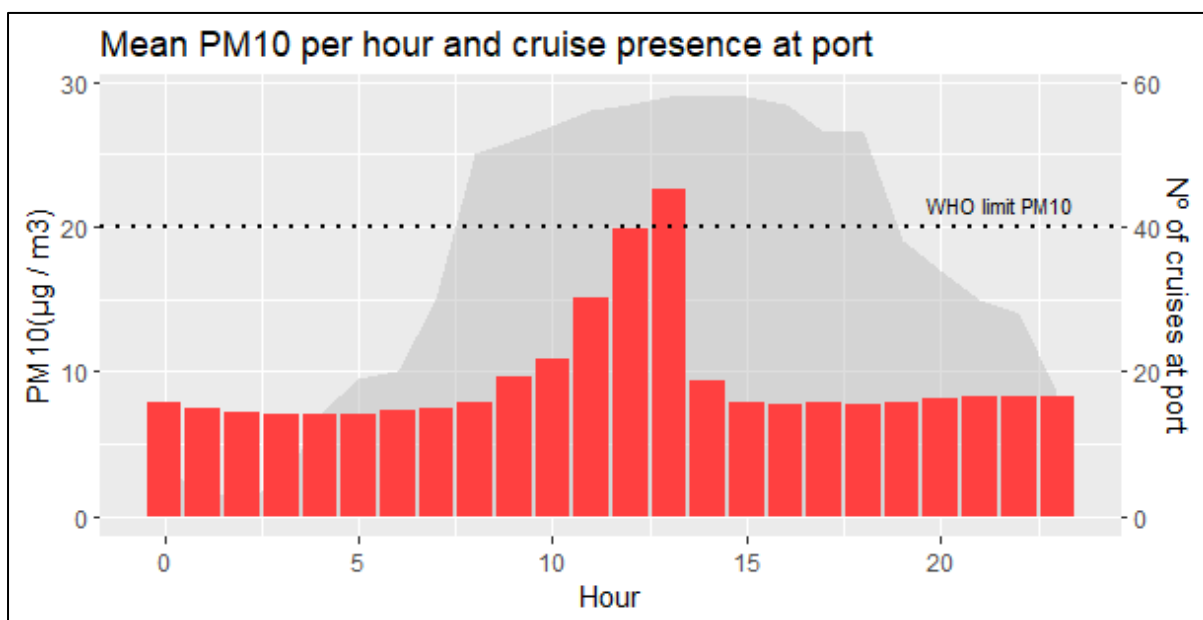
En primer lloc, veiem que les mitjanes diàries tant per PM2.5 com per PM10 al mes de juliol són més baixes que les presentades al mes d'agost i d'octubre respectivament, amb valors de 6,45 µg/m<sup>3</sup> i 9,66 µg/m<sup>3</sup>. Les presentades al mes de setembre tenen valors similars, de 4,05 µg/m<sup>3</sup> i 9,40 µg/m<sup>3</sup> per les PM2.5 i PM10 respectivament.

Tot i això, veiem com la mateixa tendència observada al mes d'agost es repeteix en aquest per les PM2.5, tant al mes de juliol com al setembre. De nou, entre les 11h i les 13h es quan es dona el pic en la concentració mesurada de PM2.5 en els dos casos. La mitjana en aquesta franja de tres hores és de 19,63 µg/m<sup>3</sup> pel mes de juliol i de 15,82 µg/m<sup>3</sup> al setembre, que no arriben a ser tan altes com el d'agost, però que tot i això estan per sobre dels límits de seguretat de la OMS per aquesta mena de partícules. A les 12h durant el mes de juliol, també s'arriben a superar els límits legals de PM2.5, amb un màxim de 26,48 µg/m<sup>3</sup>.

Els nivells de PM10 tant al juliol com al setembre, mostren la mateixa tendència que els de PM2.5, i són diferents que els d'octubre. A diferència d'aquest, en que la periodicitat es trobava emmascarada en gran mesura per les entrades de pols sahariana, juliol presenta el màxim a les 12h i setembre a les 13h, amb un valor mesurat de 29,70 µg/m<sup>3</sup> i de 22,53 µg/m<sup>3</sup> respectivament. A les 11h i a les 12h del mes de juliol i a les 13h del mes de setembre se superen els límits de la OMS per les PM10. A diferència del mes d'octubre, en que la presència de creuers a port era constant al llarg del dia, tant al mes de juliol com al setembre, aquesta presenta un major sumatori en les hores diürnes, amb uns valors de més de 50 en totes les hores entre les 9h i les 18h. Per a aquests dos mesos, igual que per l'agost, es mostra clarament una relació entre un augment de la contaminació i els creuers.

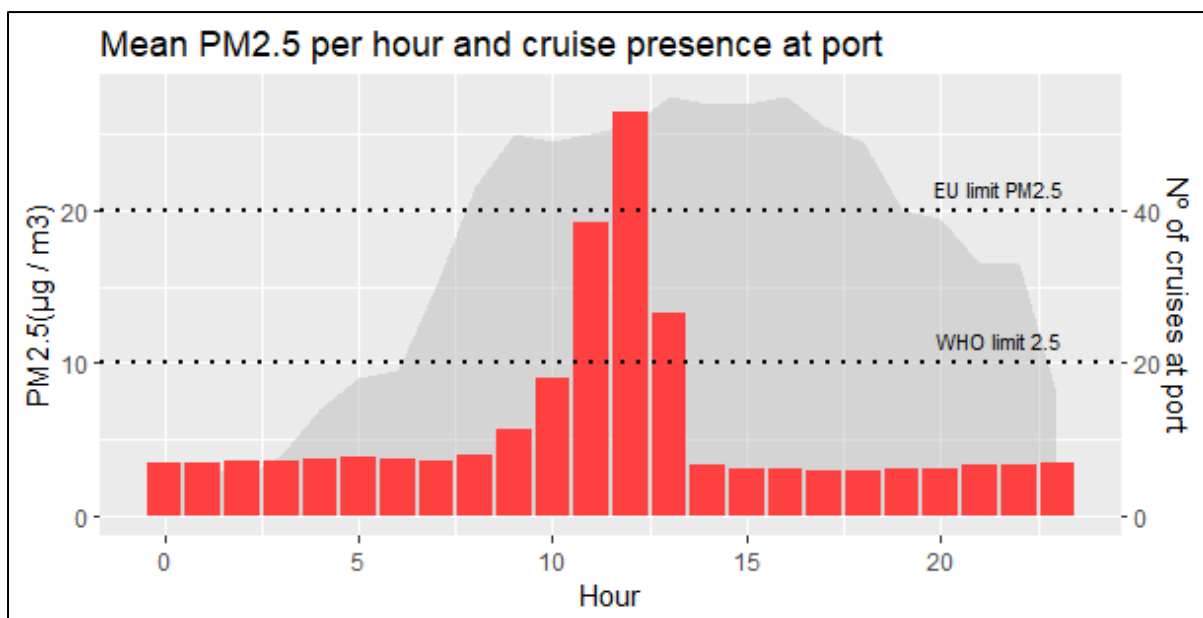


**Figura 11:** Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant el mes de setembre, comparant amb la presència de creuers a port

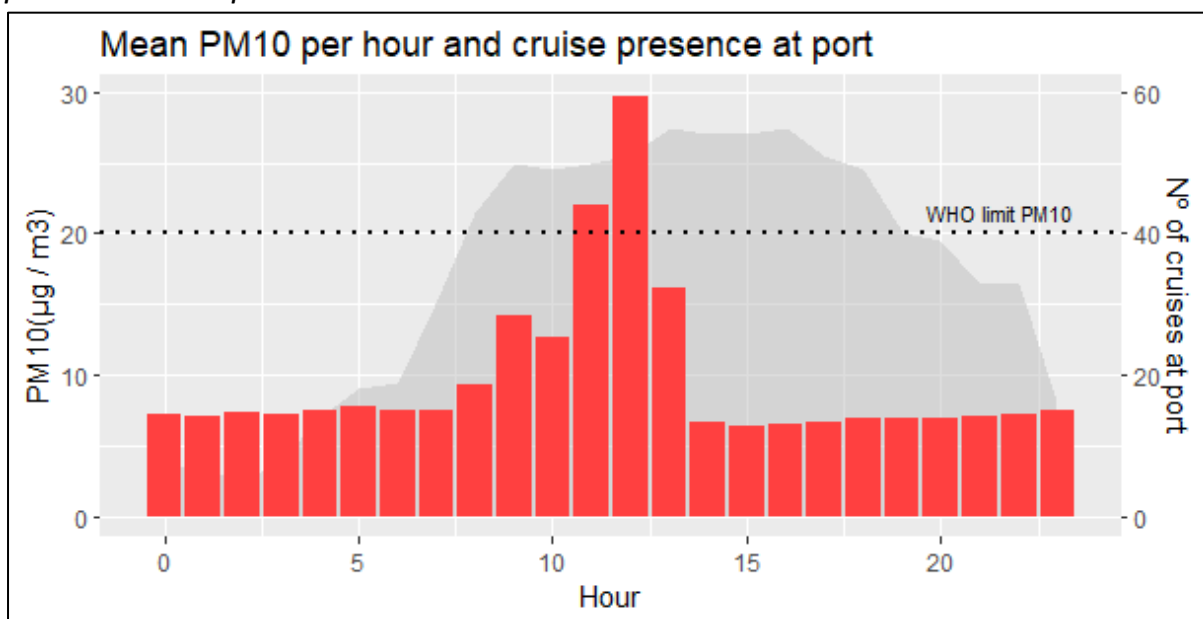


**Figura 12:** Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant el mes de setembre, comparant amb la presència de creuers a port





**Figura 13:** Distribució de la contaminació mitjana per PM2.5 al llarg del dia durant el mes de juliol, comparant amb la presència de creuers a port.



**Figura 14:** Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant el mes de juliol, comparant amb la presència de creuers a port

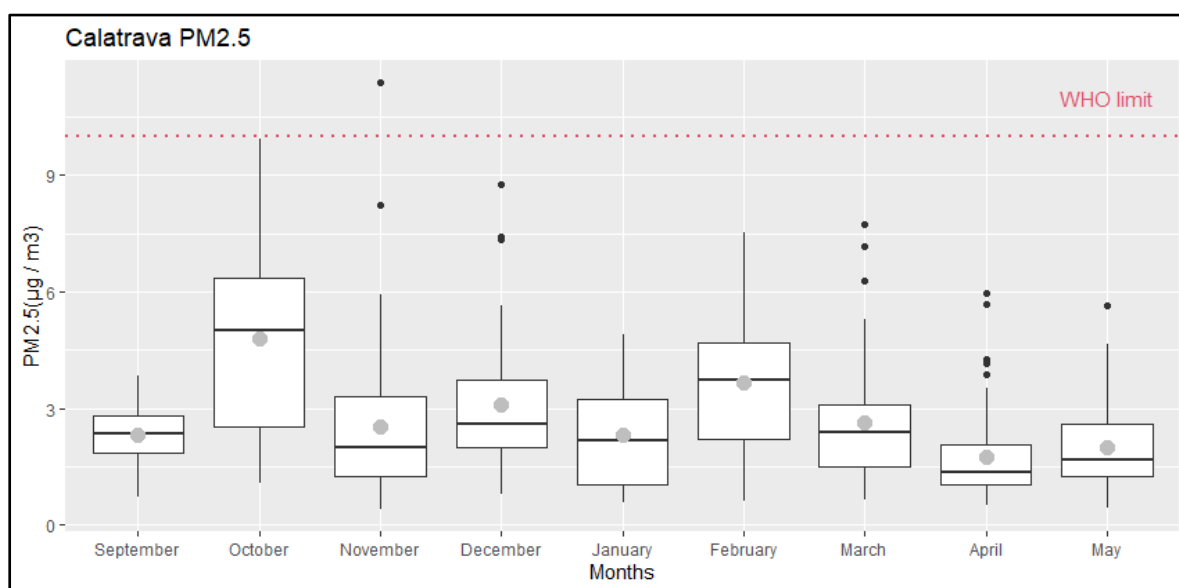
Vistos els anàlisis del segon i el tercer mes amb més creuers, veiem que els resultats extrets són els mateixos als del primer mes, el que reforça la conclusió que diu que existeix una causalitat entre la presència de creuers a port i una major contaminació de PM2.5 a les hores centrals del dia. També hem pogut trobar aquesta relació per les PM10, que al mes d'octubre no era tan evident.

### 3.2.2. La Calatrava.

#### Anàlisi Anual i mensual

La sèrie temporal analitzada en el cas del sensor de la Calatrava ha estat setembre 2022-maig 2023. En aquest cas, veiem que el mes amb el menor nombre d'observacions és el gener, mentre que la resta de mesos compten amb entre 56 i 62 mesures.

Els resultats obtinguts del sensor de la Calatrava respecte a quines són les concentracions mitjanes de PM2.5 i de PM10 a cada mes han estat els següents (**Figures 15 i 16**).

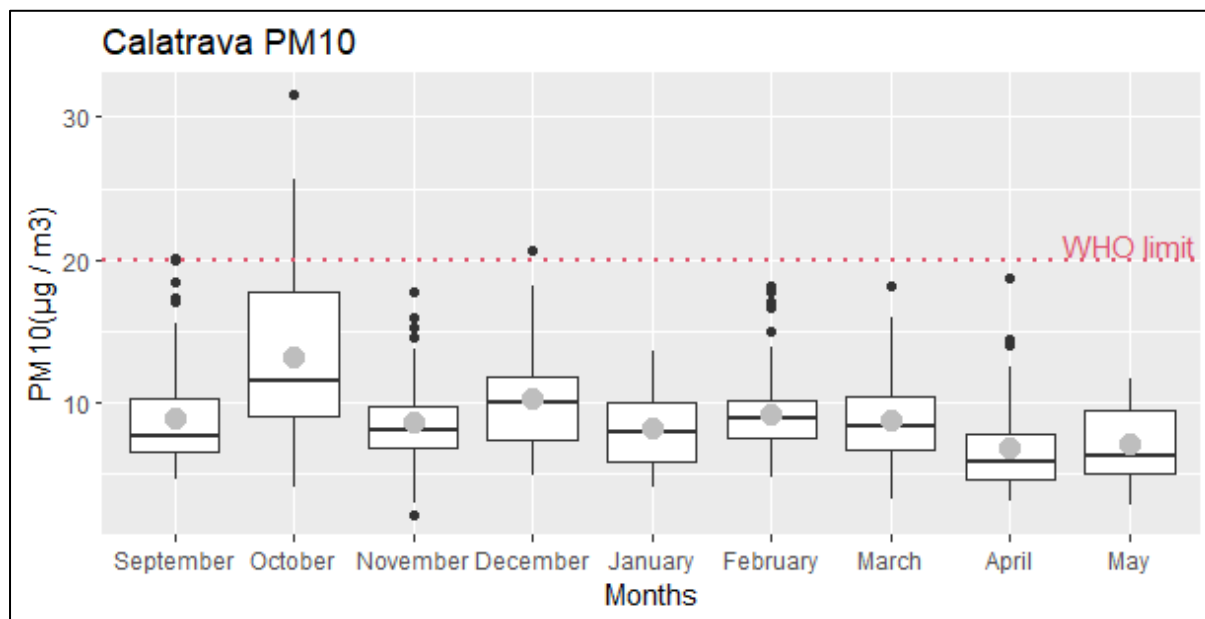


**Figura 15:** Diagrames de caixa que mostren les mitjanes per mes de  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de PM2.5 mesurades pel sensor instal·lat a la Calatrava entre setembre 2022 - maig 2023

Veiem que els valors de contaminació mitjans mesurats pel sensor de la Calatrava han estat, en general, més baixos que els registrats a la Bonanova. Per les PM2.5, el màxim de  $4,78 \mu\text{g} / \text{m}^3$  s'ha donat al mes d'octubre, que també ha estat el mes amb el valor mitjà més alt de PM10 de  $13,19 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . El valor mitjà mensual de PM10 ha estat més alt a la Calatrava que a la Bonanova pel mateix mes d'octubre.

Aquests resultats tornen a mostrar de forma general que el mes amb més creuers, també ha estat el que ha tingut més contaminació, aquest cop per als dos tipus de partícules. En el cas de les PM10, la diferencia entre octubre i la resta de mesos ha estat gran, també segurament donat a les entrades de pols

que hem vist com fan augmentar els valors de concentració mitjans d'aquestes partícules. Això ha fet que les mesures de variabilitat per les PM10 hagin estat més elevades que per les PM2.5, que han presentat lectures altes de forma més constant.



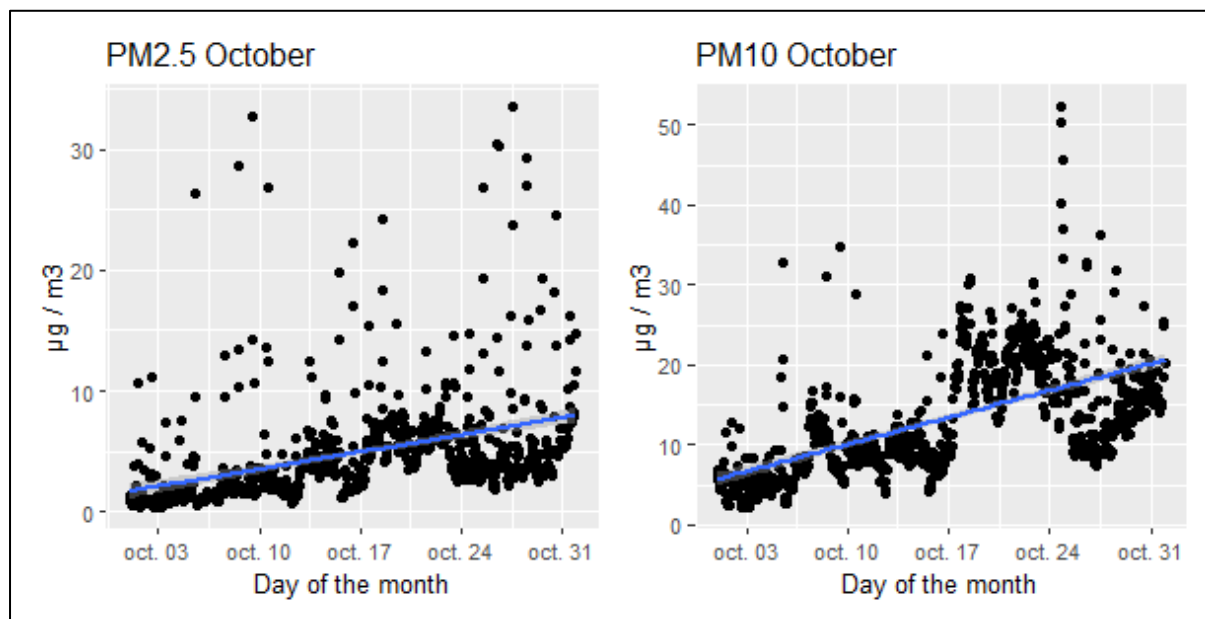
*Figura 16: Figura 12: Diagrames de caixa que mostren les mitjanes per mes de  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de PM10 mesurades pel sensor instal·lat a la Calatrava entre setembre 2022 - maig 2023*

Finalment, mirant els valors de contaminació respecte dels límits europeus i de la OMS, veiem que segons les dades d'aquest sensor, en la majoria de mesures els valors registrats es troben dins dels valors més estrictes de  $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$  per les PM2.5 i les  $20 \mu\text{g} / \text{m}^3$  per les PM10 recomanats per la OMS, i per tant també dins dels límits europeus. De igual forma que al sensor de la Bonanova, només una franja de les lectures realitzades al mes d'octubre han estat per sobre del límit de la OMS.

Seguint l'anàlisi sobre l'evolució al llarg dels mesos amb la mitjana màxima de PM2.5 i PM10 per a aquest sensor, s'ha detectat una tendència d'augment de la contaminació tant per PM2.5 com PM10. (**Figura 17**). Aquest augment ha tingut un pendent més marcat en el cas de les PM10, donat que com ja s'ha comentat, aquestes es troben més influenciades per les entrades de pols.

Els valors registrats a la primera quinzena del mes són més baixos en els dos casos,  $3,096$  i  $8,262 \mu\text{g} / \text{m}^3$  de mitjana per PM2.5 i PM10 respectivament, que els de la segona quinzena, de  $6,461$  i  $17,802 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . Per les PM10, entre les 17h de dia 24 i la 1h de dia 25 es quan es dona el màxim en les lectures, essent el pic

a les 20h amb una concentració registrada de 52,4  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ . Aquest és el mateix pic que es veia al sensor de la Bonanova, pel que sembla que durant aquestes hores la concentració de PM10 va ser molt elevada a tota la ciutat de Palma.



*Figura 17: Evolució de les mesures diàries per PM2.5 i PM10 al mes d'octubre*

Quan mirem com es distribueix la contaminació al llarg del dia a la Calatrava per ambdues partícules els resultats són els següents.

### Anàlisi diari PM2.5

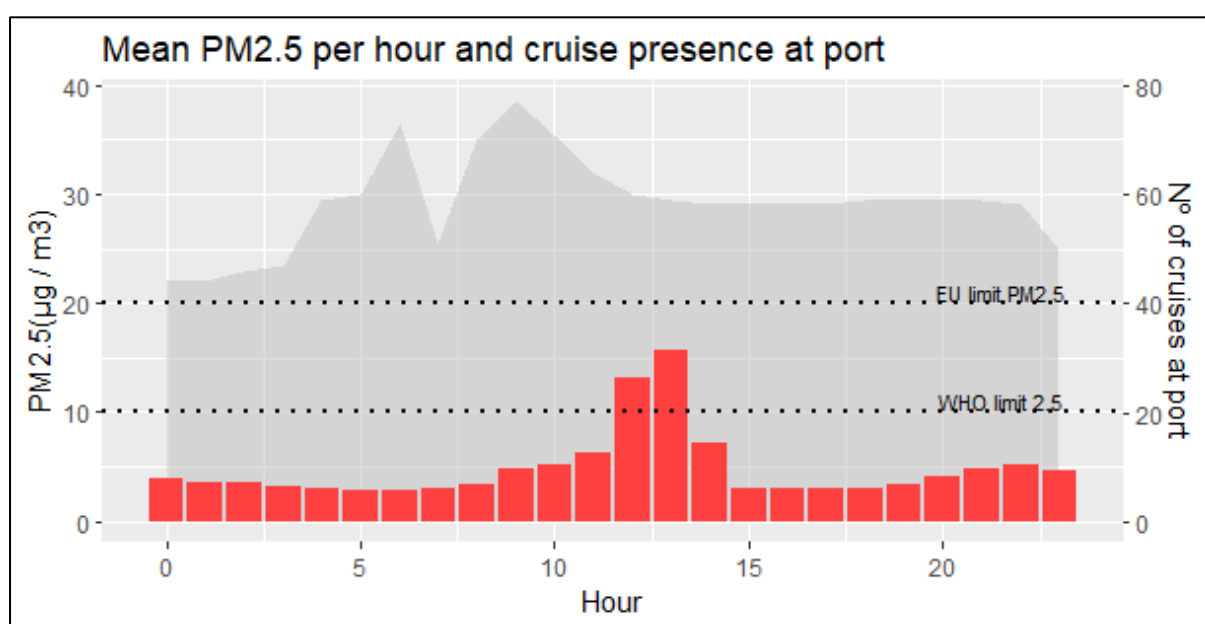
En general les lectures diàries de PM2.5 (**Figura 18**) han estat més baixes que les observades al sensor de la Bonanova, amb una mitjana de 4,832  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  registrada pel sensor de la Calatrava comparat amb la mitjana de 6,45  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de la Bonanova.

Tot i això, durant la majoria del dia els valors registrats a la Calatrava han estat més alts, i el que fa que la mitjana sigui més baixa és que el pic màxim a les hores centrals del dia al mes d'agost són més grans (potser donada la diferència de radiació solar entre les dos mesos que fa que s'acumulin les partícules a la zona del sensor, ja que el nombre de creuers a port ha estat més elevat a l'octubre que a l'agost) de 26,79  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de mitjana entre les 11h i les 13h a l'agost, respecte les 11,73  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  a l'octubre.

Tot i això, el patró obtingut és similar, i veiem que les hores amb la concentració mitjana de PM2.5 més alta del dia són entre les 10h i les 14h, amb el màxim de

15,696  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  a les 13h. Tant a les 13h com a l'hora anterior, a les 12h amb 13,167  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  se superen els límits de seguretat sanitària establerts per la OMS per les PM2.5.

Torna a passar que la periodicitat en la contaminació no presenta una relació tan clara amb una major presència de creuers a port, que com hem comentat és constant al llarg de tot el dia al mes d'octubre. Tot i això, els valors elevats sobretot a les 12h i les 13h, i el fet que el mes amb més creuers sigui el que presenta el màxim en la concentració mitjana de PM2.5 mostra com la presència d'aquests fa augmentar els valors de contaminació registrats.



*Figura 18: Distribució de la contaminació mitjana per PM2.5 al llarg del dia durant el mes d'octubre, comparant amb la presència de creuers a port*

### Anàlisi diari PM10

De cara a les PM10 (**Figura 19**), la mitjana diària al mes d'octubre ha estat de 13.192  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , el que també suposa una mitjana més alta en aquets cas que la presentada al mateix mes al sensor de la Bonanova de 11,73  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ .

La tendència observada ha estat la mateixa que la observada al sensor de la Bonanova, trobant-se els pics de les hores centrals del dia emmascarats per les entrades de pols de la segona quinzena del mes. Aquests pics són lleugerament més alts que els registrats pel sensor de la Bonanova, amb un màxim a les 13h de 19,245  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  que no arriba per poc al límit de la OMS per aquestes partícules. La concentració es troba molt repartida al llarg del dia, presentant

molt poca variabilitat, amb una desviació estàndard de  $2,32 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , semblant a la que s'obté per les PM<sub>10</sub> a la Bonanova.

De nou, aquesta contaminació tant constant al llarg del mes es pot relacionar no només amb les entrades de pols, sinó també amb una presència molt constant de creuers a port. Si apliquem el mateix procés que hem utilitzat pel sensor de la Bonanova, i separem les dades entre la primera i la segona quinzena d'agost per veure l'efecte real que tenen les entrades de pols, les conclusions són les mateixes (**Figures 20 i 21**). La primera quinzena presenta una concentració mitjana de PM<sub>10</sub> de  $8,262 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , molt menor que la de la segona quinzena de  $17,811 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . Comparant amb el sensor de la Bonanova, els valors són semblants essent la mitjana a la primera quinzena una mica superior i a la segona una mica inferior. Mentre que a la primera quinzena no s'arriba a superar el límit de la OMS en cap moment, ni tan sols en el pic màxim de  $16,493 \mu\text{g} / \text{m}^3$  a les 13h, si que se supera a la segona quinzena als pics de les 12h i les 13h, amb valors de  $23,619$  i  $21,825 \mu\text{g} / \text{m}^3$  respectivament.

De nou veiem com a la primera quinzena s'aprecia una periodicitat més gran que a la segona, en que la contaminació està més repartida al llarg del dia i té valors més elevats i més constants.

De nou s'aprecia la importància de tenir en compte aquest factor ambiental a l'hora d'estudiar l'afectació d'aquestes partícules en la població i a l'hora d'aplicar regulacions, donat que en èpoques on siguin freqüents aquestes entrades de pols aquestes haurien de ser més estrictes per compensar l'excés de PM a l'atmosfera de forma natural. També és clau veure com els diferents sensors registren els episodis de pols ambientals, per veure el rang d'afectació en la ciutat i distingir-ne les diferències entre els que estan sota l'influència de l'activitat portuària i els que no.

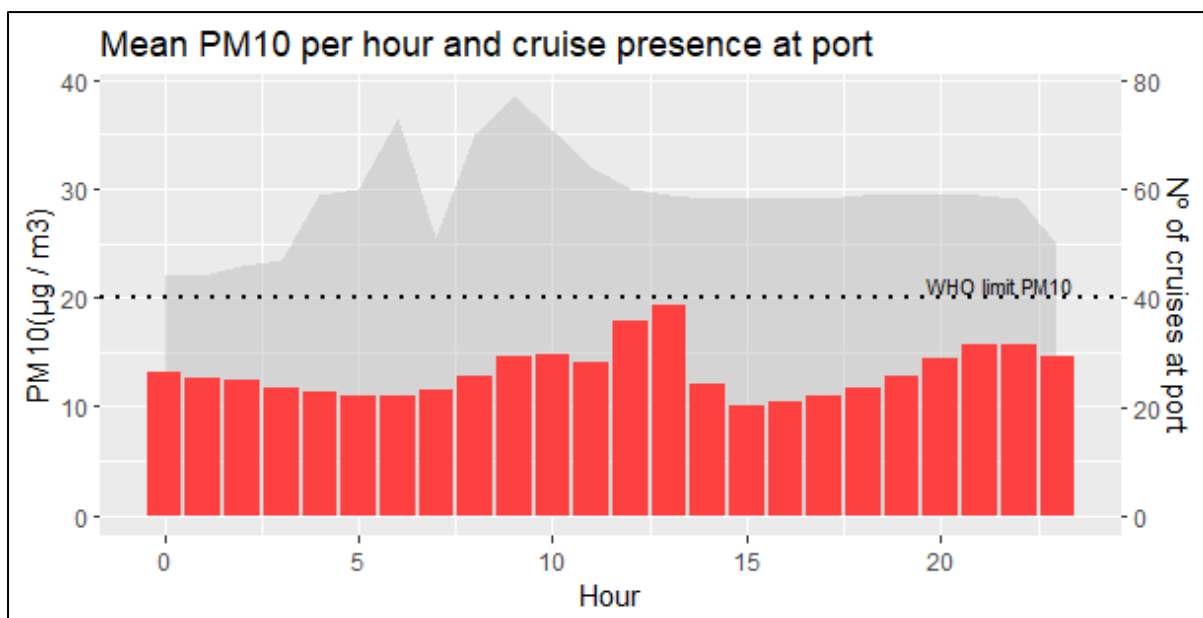


Figura 19: Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant el mes d'octubre, comparant amb la presència de creuers a port.

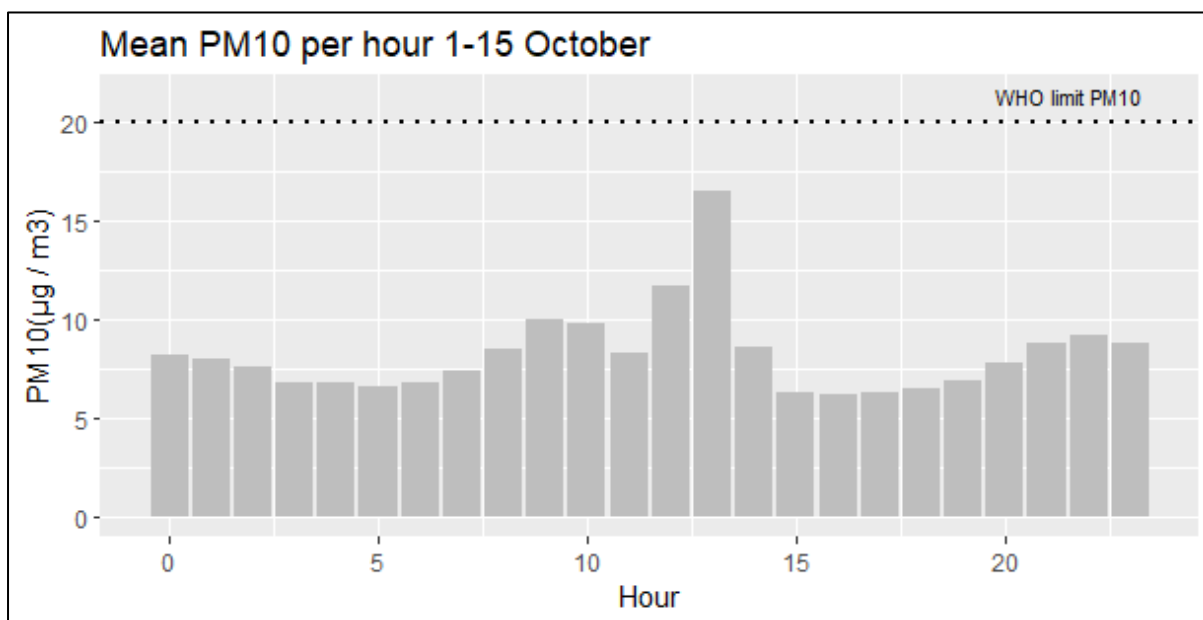


Figura 20: Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant la primera quinzena del mes d'octubre.

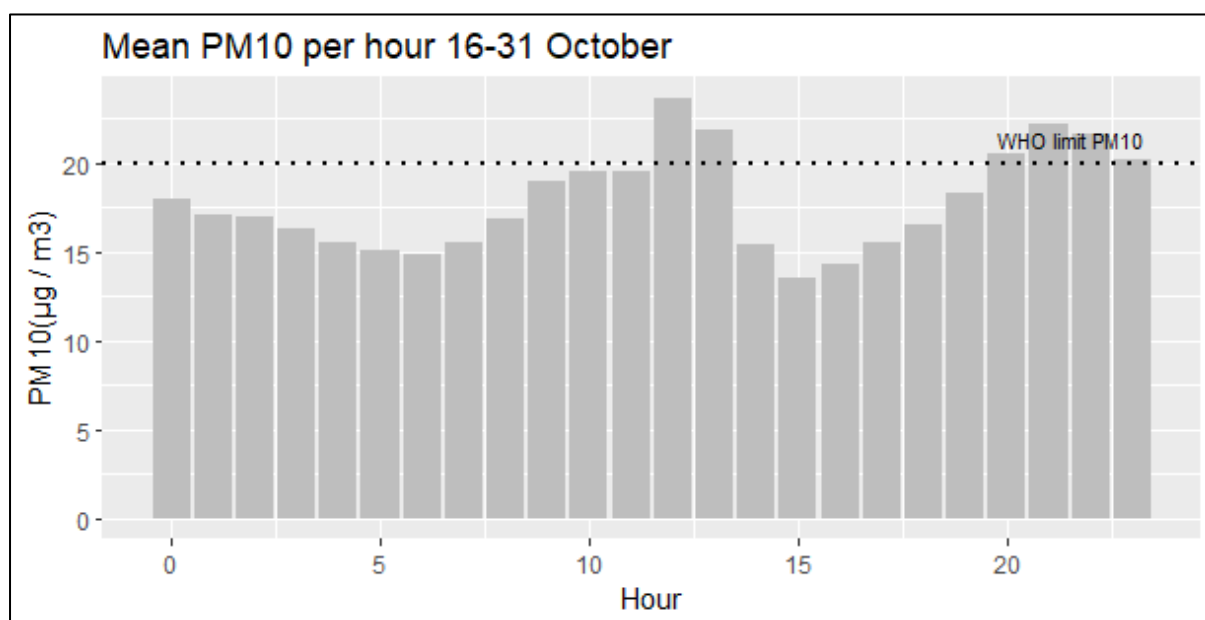


Figura 21: Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant la segona quinzena del mes d'octubre.



### 3.2.3. Passeig Marítim

#### Anàlisi Anual i mensual

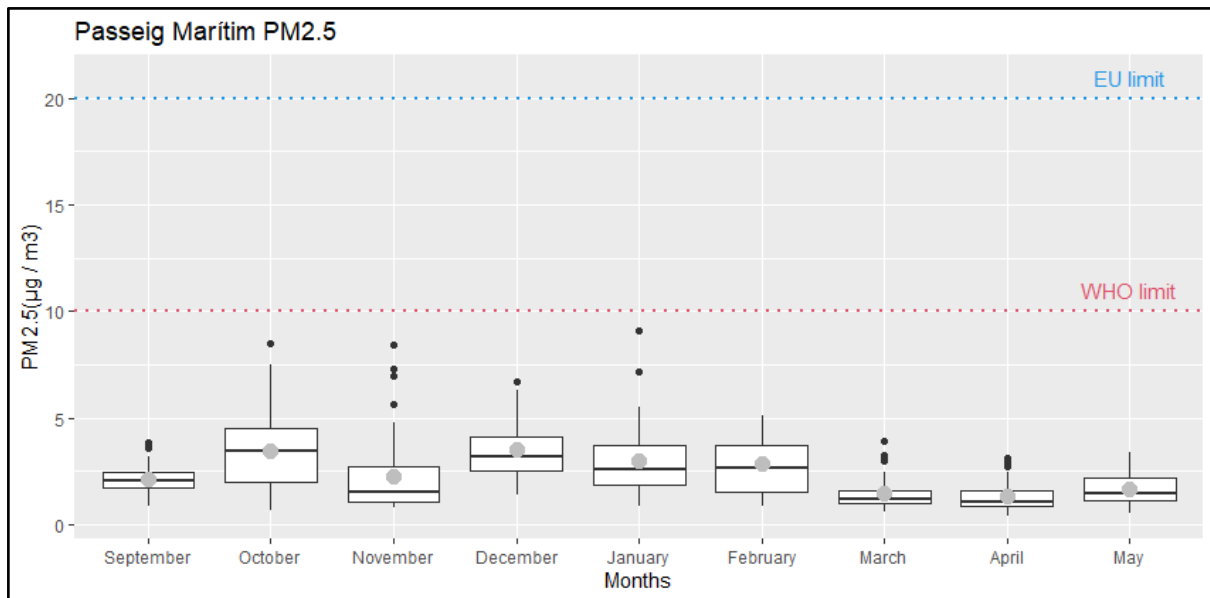
En el cas del sensor de Passeig Marítim, els mesos de desembre i febrer queden especialment limitats en el nombre de mesures, tenint-ne 29 i 11 respectivament. De nou el lapse de temps estudiat ha estat entre els mesos de setembre del 2022 i maig del 2023.

Passant a fer l'anàlisi dels valors de contaminació per cada mes, veiem que de nou aquests entren dins dels límits al llarg de tot el període estudiat (**Figura 22 i 23**). Els valors han estat encara més baixos que els mostrats pel sensor instal·lat a la Calatrava, amb una mitjana màxima de 3,503  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  al mes de desembre per les PM2.5 i de 9,725  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de nou al mes d'octubre per les PM10. Cal dir que per les PM2.5 la diferència en la concentració mitjana entre desembre i octubre ha estat molt baixa.

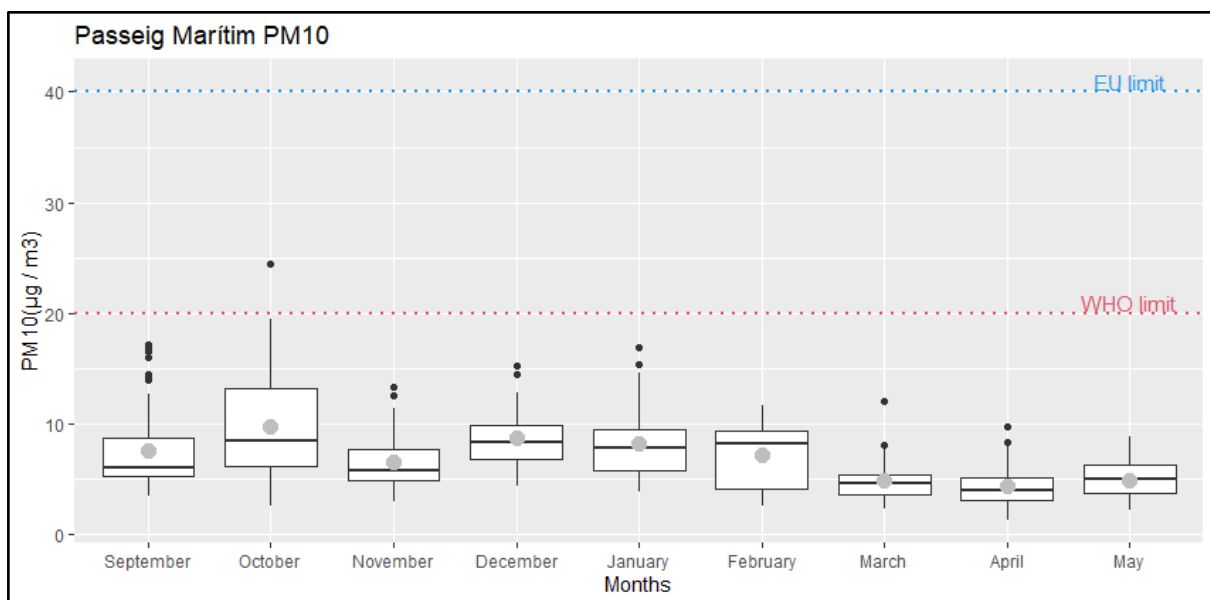
Aquest ha estat el sensor que ha presentat les lectures de PM2.5 més baixes de mitjana dels tres analitzats fins ara, el que no sembla que sigui coherent amb la seva proximitat a port i a la influència dels creuers. També és estrany que el més amb la mitjana màxima de PM2.5 sigui el mes de desembre, que aparentment és un mes poc turístic, tot i que això pot ser degut a una major variabilitat i a un baix nombre de lectures. El mes amb menys contaminació ha estat el mes d'abril, amb 1.29  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  i 4.27  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  per les PM2.5 i PM10 respectivament.

La variabilitat també ha estat alta en general, amb una desviació estàndard mitjana de 1.23  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  i de 2.818  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  per les PM2.5 i les PM10.

Per fer l'anàlisi diària, donat que el nombre de mesures al mes de desembre és més baix, s'ha decidit agafar les dades del segon mes amb més contaminació mitjana per PM2.5 registrada, que en aquest cas torna a ser octubre. Per tant, tornem a aplicar l'anàlisi tant de PM2.5 com de PM10 al mes d'octubre.



**Figura 22:** Mitjana de  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de PM2.5 mesurades pel sensor instal·lat al Passeig Marítim entre setembre 2022 - maig 2023.



**Figura 23:** Mitjana de  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de PM10 mesurades pel sensor instal·lat al Passeig Marítim entre setembre 2022 - maig 2023.

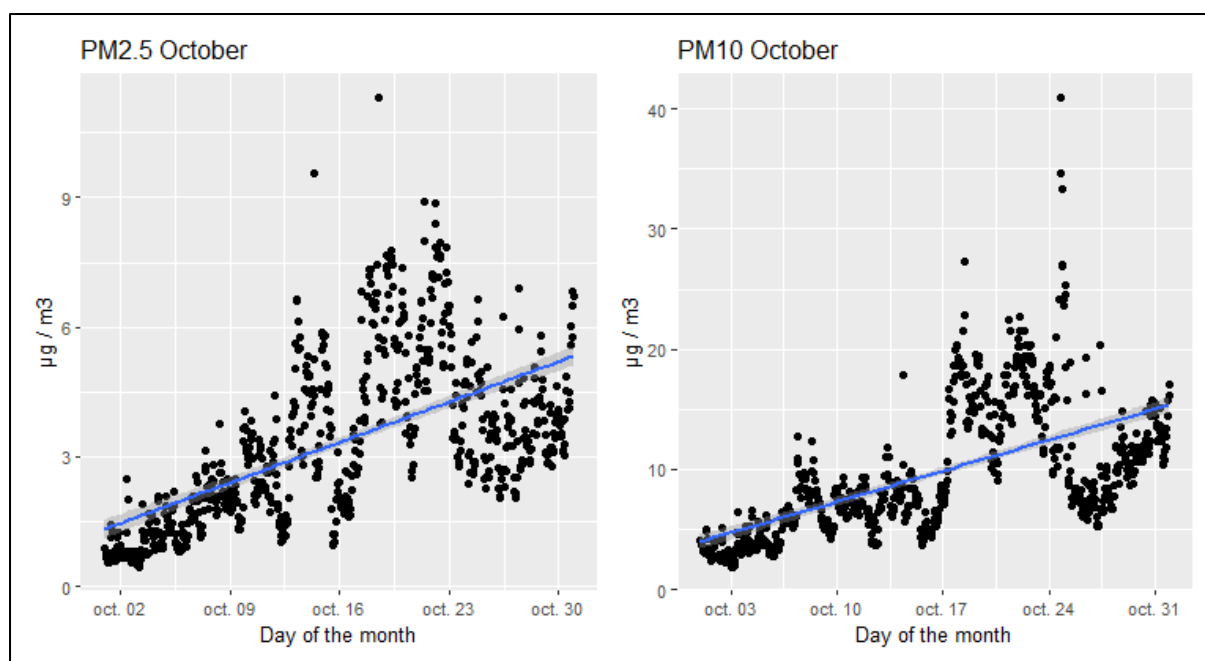
A la **Figura 24** veiem l'anàlisi de com es distribueixen les mesures per contaminació de PM10 i PM2.5 al llarg del mes.

La concentració de PM2.5 mesurada pel sensor del Passeig Marítim augmenta al llarg del mes, el que mostra els mateixos resultats del sensor de la Calatrava, però amb un pendent fins i tot més elevada en aquest cas. La mitjana en la primera quinzena del mes és de  $2,183 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , i es duplica al llarg de la segona,

arribant a  $4,478 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . Dia 18 d'Octubre a les 11 del matí, el sensor del Passeig Marítim va registrar una mesura que supera els límits recomanats per l'OMS de PM2.5, amb un valor de  $11,3 \mu\text{g} / \text{m}^3$ .

Per les PM10 l'increment a la segona quinzena és encara més gran, passant de  $5,908 \mu\text{g} / \text{m}^3$  entre dies 1 i 15 i a  $13,236$  entre el 16 i el 31. De la mateixa forma que als dos sensors estudiats amb anterioritat, el pic es dona entre els dies 24 i 25, en que la contaminació per PM10 a l'atmosfera va ser extrema, arribant a  $40,9 \mu\text{g} / \text{m}^3$  dia 24 a les 19h (una hora abans que el pic que presentava el sensor de la Calatrava). Això supera els límits tant de la OMS com de la UE per aquesta classe de partícules.

En definitiva, veiem com els resultats obtinguts a tots els sensors són els mateixos i coherents entre si, i reflecteixen l'efecte de les entrades de pols sahariana.



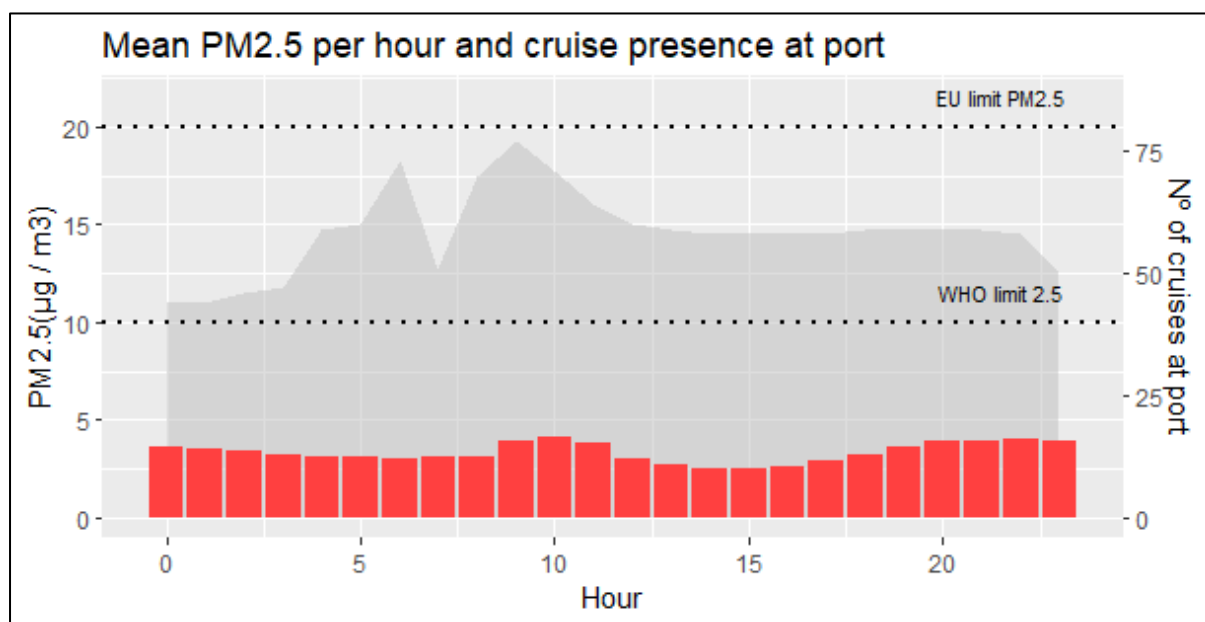
*Figura 24: Evolució de les mesures diàries per PM2.5 i per PM10 al mes d'octubre*

### Anàlisi diari PM2.5

Mirant l'anàlisi per hora per les PM2.5 (**Figura 25**) veiem que els valors de contaminació mitjans al llarg del dia han estat molt baixos, per sota dels  $5 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , tot i l'alta presència de creuers a port del mes d'octubre. La mitjana diària ha estat de  $3,33 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , el que resulta la més baixa de tots els sensors analitzats fins ara, amb un màxim de  $4,149 \mu\text{g} / \text{m}^3$  a les 10h. Tampoc no sembla apreciar-

se una tendència clara en quant a hores del dia en que es doni un augment en la contaminació mesurada de PM2.5.

Aquests resultats són estranys, ja que hem vist com a la Bonanova i a la Calatrava, els valors de contaminació al mateix mes eren més elevats i presentaven una periodicitat marcada. Això fa pensar que segurament la ubicació del sensor de Passeig Marítim no sigui la millor per captar la contaminació de port.



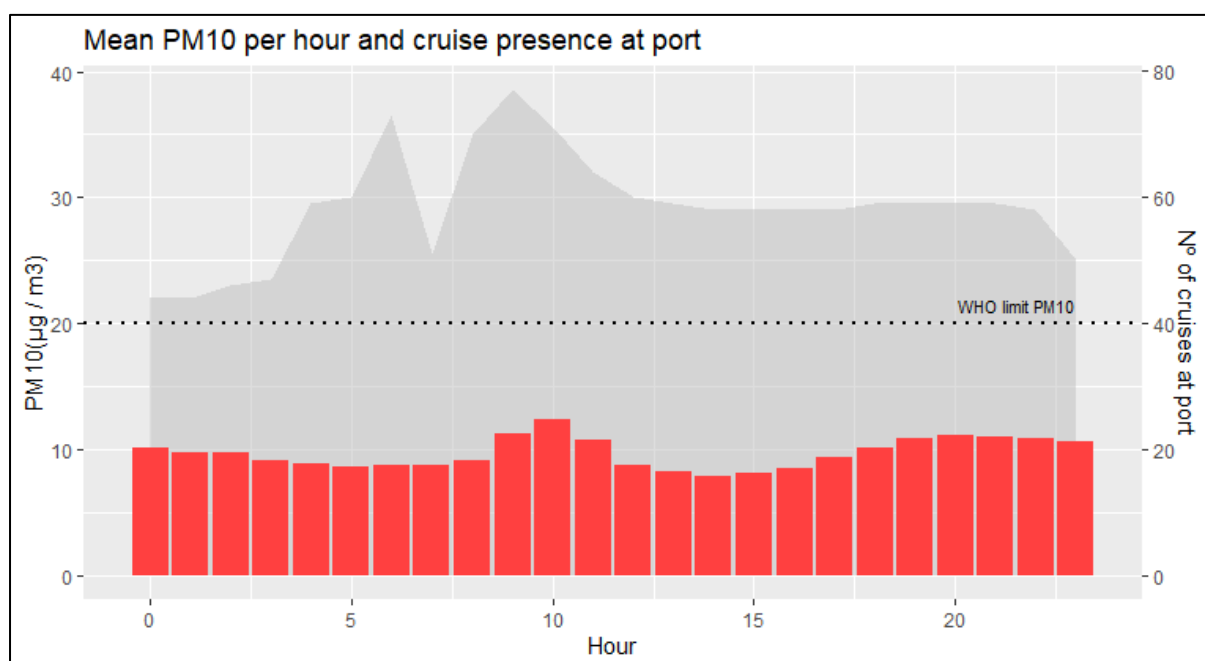
*Figura 25: Distribució de la contaminació mitjana per PM2.5 al llarg del dia durant el mes d'octubre, comparant amb la presència de creuers a port.*

### Anàlisi diari PM10

Per les PM10 (**Figura 26**), també es presenten valors més baixos que els observats als sensors de la Bonanova i la Calatrava, al voltant dels 10 µg / m<sup>3</sup> a totes les hores. De la mateixa forma que per les PM2.5 no s'aprecia cap periodicitat, i tot i que en aquest cas podria ser degut a que les entrades de pols l'estan camuflant com hem vist que passava als altres sensors, els resultats extrets a les PM2.5 fan pensar que en aquest cas aquesta falta de periodicitat es dongui per una mala ubicació del sensor, pel que aquesta part de l'anàlisi ja no es realitzarà.

Segurament, factors ambientals que no s'estan tenint en compte en aquest document (com l'existència de corrents de vent dominant que desplacen la

contaminació lluny de la zona on es troba el sensor) fan que els valors mesurats no aportin cap relació amb la presència de creuers a port com s'esperaria. Això il·lustra la complexitat en aquest tipus d'anàlisis de qualitat de l'aire, i de la necessitat de tenir altres fonts de dades per a contrastar els resultats, ja que si haguéssim d'obtenir només la mitjana basant-nos en aquest sensor, ens quedariem amb la imatge que la contaminació no arriba a la ciutat i que no té cap relació amb la presència de creuers a port (quan hem vist a través dels sensors de la Bonanova i la Calatrava que això no és així).



**Figura 26:** Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant el mes d'octubre, comparant amb la presència de creuers a port.

### 3.2.4. Pere Garau

#### Anàlisi Anual i mensual

De nou el temps d'estudi ha estat entre els mesos de setembre 2022 i maig 2023, de la mateixa forma que pels sensors de la Calatrava i de Passeig Marítim. En aquest cas, el sensor es troba a una zona urbana lluny de la influència de l'activitat dels creuers a port. Per tant, esperem que aquest sensor no mostri la periodicitat que si que s'ha vist en els instal·lats a la Bonanova i a la Calatrava, i que les tendències en la contaminació que hi puguem apreciar vinguin donades per altres factors com el tràfic rodat. També serà útil com a sensor control, per a veure reflectits els paràmetres ambientals que afectin a tota la ciutat.

En el cas del sensor de Pere Garau, les observacions estan repartides de forma uniforme entre tots els mesos de l'any estudiats tant per les PM2.5 com les PM10, tenint octubre el mínim de mesures de contaminació amb 45 i els que més gener i març amb 62 (un cop ja eliminats els NA *values*). Per tant no sembla que hi hagi cap mes del qual els resultats que obtinguem puguin ser poc representatius degut a una falta d'observacions.

Mirant els gràfics que ens mostren els diagrames de caixes per cada mes (**Figures 27 i 28**), veiem que totes les mitjanes es troben dins de les recomanacions de contaminació màximes establertes per la OMS (10 µg / m<sup>3</sup> per les PM2.5 i 20 µg / m<sup>3</sup> per les PM10) tant per les PM2.5 com les PM10, i que només en algunes observacions puntuals es que trobem que els valors poden superar aquest límit. Els mesos que han presentat unes mitjanes més altes de contaminació són els de febrer per les PM2.5 i de desembre per les PM10, essent els valors registrats de 4,273 µg / m<sup>3</sup> per PM2.5 al mes de Febrer i de 9,55 µg / m<sup>3</sup> pel mes de Desembre. Ambdós són mesos poc turístics, amb poca presència de creuers, factor que, com hem comentat, no hauria d'afectar a aquest sensor tant com als altres més propers a port, pel que en aquest cas no és tan estrany que els mesos que presentin el màxim de contaminació siguin mesos fora d'estiu. Els següents mesos amb els valors més alts han estat per PM2.5 octubre i març i de PM10 de nou octubre i febrer.

Aquest és el sensor que presenta un valor de desviació estàndard entre les mitjanes de contaminació tant de PM2.5 com de PM10 de cada un dels mesos més baix, pel que tots ells estan molt igualats en quant a quins són els que presenten els valors més alts, de forma que no sembla que hi hagi molta estacionalitat en les mesures.

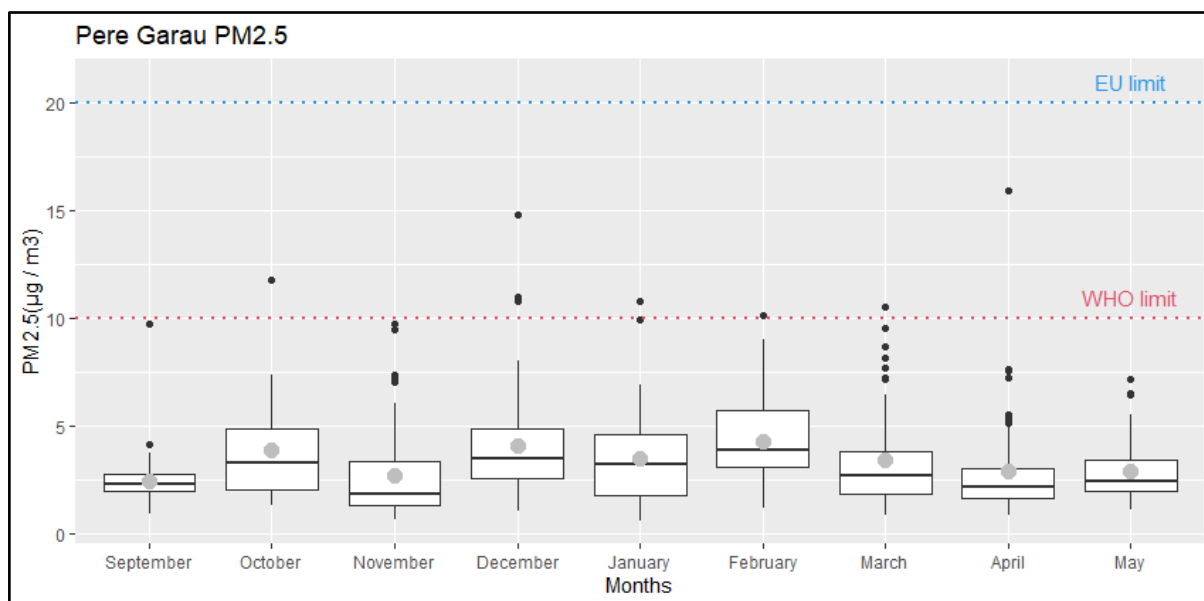


Figura 27: Mitjana de  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de PM2.5 mesurades pel sensor instal·lat a Pere Garau entre setembre 2022 - maig 2023.

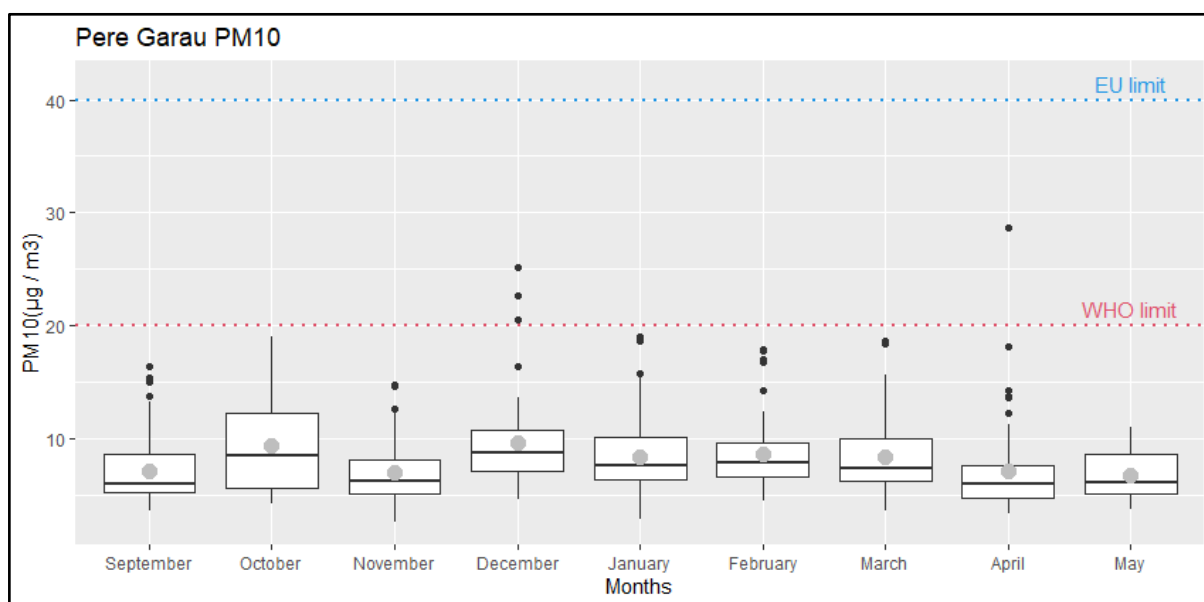
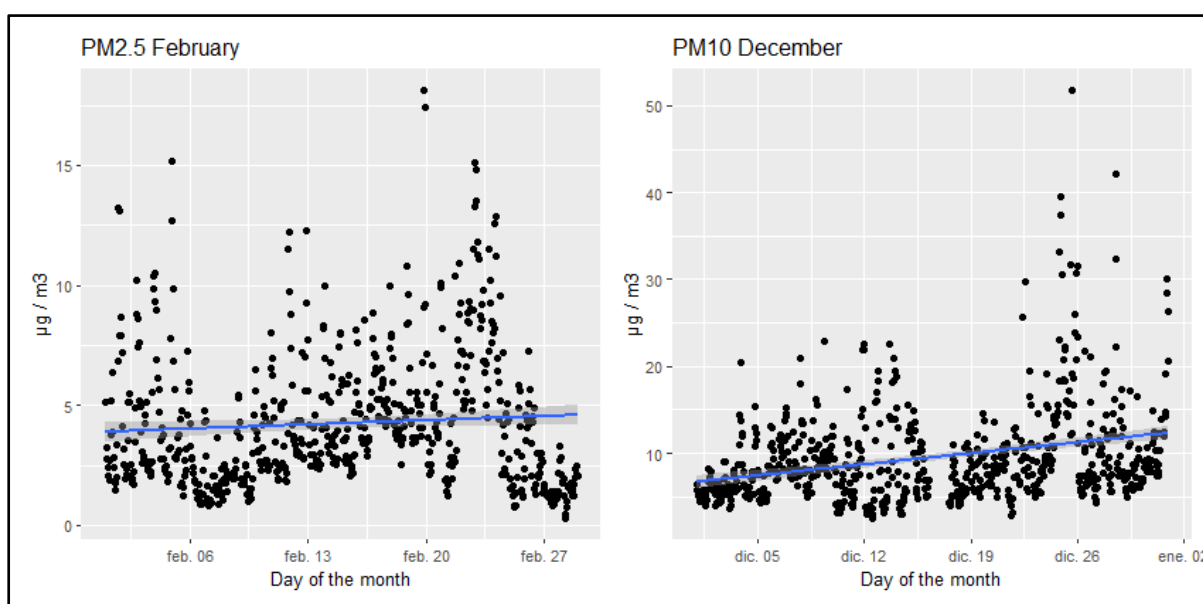


Figura 28: Mitjana de  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  de PM10 mesurades pel sensor instal·lat a Pere Garau entre setembre 2022 - maig 2023.

De cara a l'evolució de la contaminació al llarg del mes (**Figura 29**), al mes de febrer per les PM2.5 es mostra una estabilitat marcada en el cas de les observacions realitzades pel sensor, pel que no podem dir que hi hagi un creixement ni un decreixement. Si que es donen mesures altes puntuals en dies

concrets del mes, però no corresponen a cap entrada de pols sahariana i el més probable és que vinguin donades per altres elements que no s'estan tenint en compte.

En el cas del mes de desembre, hi ha un lleuger creixement al llarg del temps, donat a les mesures tant altes realitzades puntualment a partir de dia 20, essent el màxim de  $51,7 \mu\text{g} / \text{m}^3$  dia 25 a les 14h. La mitjana de concentració de PM10 a la primera quinzena del mes de desembre ha estat de  $8,33 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , mentre que a la segona mitjana ha estat de  $10,75 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . En aquest mes sí que hi ha registrades entrades de pols sahariana els dies 29 i 31, el que pot haver contribuït a aquest augment els darrers dies del mes.



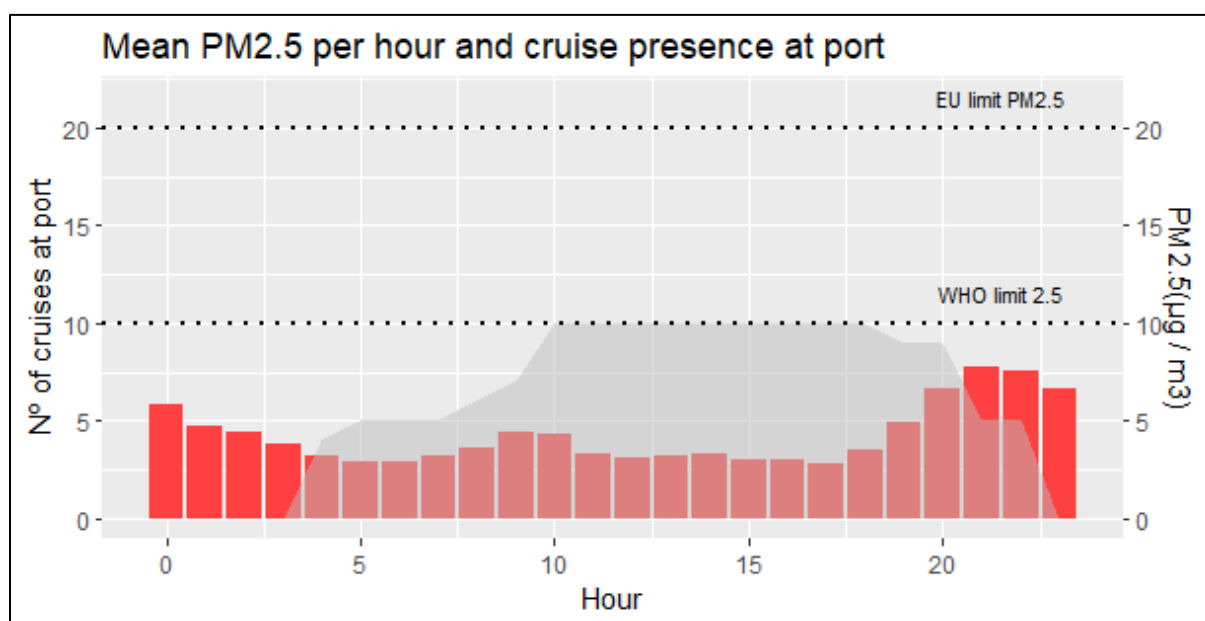
*Figura 29: Evolució de les mesures diàries per PM2.5 al mes de febrer i de PM10 al mes de desembre.*

### Anàlisi diari PM2.5

La mitjana diària de concentració de PM2.5 registrada pel sensor de Pere Garau pel mes de febrer ha estat de  $4,25 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . Analitzant la tendència dins del dia (**Figura 30**) per les PM2.5, veiem que tal i com passava amb les PM10 al sensor de la Calatrava, els valors d'aquestes augmenten durant la nit, entre les 20h i les 0h. Entre aquestes hores, la mitjana és lleugerament superior a la diària, essent de  $6,878 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . De nou, al tractar-se d'un mes fred, i amb poca presència de creuers a port durant les hores diürnes es possible que la concentració de PM2.5 es reparteixi més al llarg del dia que en els mesos d'estiu.



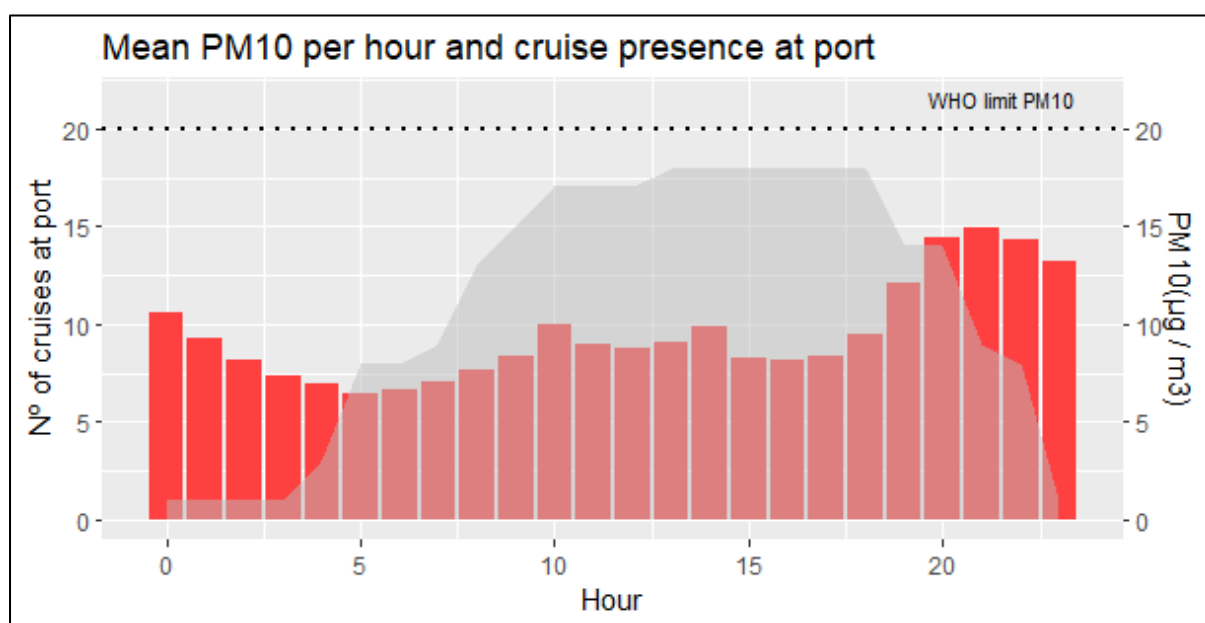
En quant a l'estacionalitat de creuers a port, aquesta presenta valors molt baixos, donat que al mes de febrer s'han registrat en total només 11 escales al port de Palma (el mes que en presenta el mínim). Tot i el menor nombre d'observacions, els pocs creuers que han arribat han estat a port sobretot entre les 10h i les 20h. Donada la baixa intensitat creuerística, i la llunyania de Pere Garau de port fa pensar que la lleugera tendència observada en quant a la concentració de PM2.5 vingui donada per factors ambientals no considerats o al tràfic rodar.



*Figura 30: Distribució de la contaminació mitjana per PM2.5 al llarg del dia durant el mes de Febrer, comparant amb la presència de creuers a port.*

### Anàlisi diari PM10

De cara a les PM10 (**Figura 31**) la mitjana diària ha estat de 9,507 µg / m<sup>3</sup>, amb valors per sota dels límits de la OMS i conseqüentment també de la UE. De la mateixa forma que per les PM2.5, les concentracions mesurades pel sensor augmenten durant la nit, entre les 19h i les 23h especialment, en que la mitjana és de 13,794 µg / m<sup>3</sup>. L'estacionalitat de creuers a port del mes de desembre, també és la mateixa que al mes de febrer, i també presenta un nombre molt baix d'escales al tractar-se d'un mes poc turístic, 18 en tot el mes. Tant al mes de febrer com al de desembre, les entrades de creuers han estat concentrades com en la majoria de mesos analitzats entre les 4h i les 9h, essent el pic de sortides a la tarda entre les 17h i les 22h.



**Figura 31:** Distribució de la contaminació mitjana per PM10 al llarg del dia durant el mes de Desembre, comparant amb la presència de creuers a port.

## 4. Conclusions

- En general, l'activitat de creuers s'ha concentrat molt en els mesos d'estiu, entre abril i octubre, que han tingut un 81.7% de les entrades totals registrades.
- Octubre ha estat el mes que ha presentat una activitat de creuers més intensa al port de Palma durant el període d'estudi Juny 2022 – maig 2023, amb 85 entrades. També ha estat el mes amb més concentració de PM2.5 i PM10 de forma general per a tots els sensors, excepte per al de Pere Garau. Els següents han estat els mesos de maig, setembre i juliol, tots dins del període estival amb major presència de creuers.
- El gruix d'entrades i sortides de creuers turístics en tots els mesos analitzats es distribueixen al llarg del dia tenint la majoria de les entrades a les hores de matí, entre les 5 i les 10h i les sortides a les hores de tarda, a partir de les 15h. El temps mitjà d'estada d'un creuer a port és de 12,89 hores (agafant com a referència els mesos d'octubre i agost). Com a tal, les hores on tindrem més presència de creuers a port són les hores centrals del dia, entre les 10h i les 20h aproximadament. En el cas dels fèrries i mercants, les entrades segueixen el mateix patró que els creuers (en un període de temps més curt), però les sortides es troben concentrades també en les hores de matí entre les 10 i les 13h.
- Els mesos que han presentat els màxims de contaminació han estat, pel sensor de la Bonanova agost per PM2.5 i octubre per PM10, de la Calatrava octubre tant per PM2.5 com per PM10, de Passeig Marítim octubre per PM2.5 i desembre per PM10 i per Pere Garau febrer per PM2.5 i desembre per PM10. Tots els sensors han presentat valors anuals i mensuals dins de la normativa establerta per la OMS i la UE, pel que si només es tenen en compte aquestes mitjanes s'estaria complint la normativa ambiental.

- En general, les lectures registrades pel mes d'Octubre per tots els sensors presenten un augment al llarg del mes, el qual és més pronunciat en el cas de les PM10. Això és degut segurament a les entrades de pols sahariana registrades entre els dies 16 i 31, pel que aquest augment ve donat més per fenòmens ambientals que per un augment en la presència de creuers a port al llarg del mes. Aquest creixement també es dona en menor grau en el cas de les PM10 pel mes de Desembre al sensor de Pere Garau. Aquesta conclusió reforça la necessitat d'incloure aquesta mena de factors ambientals a l'anàlisi per tal de treure'n resultats fiables, donat que en aquest cas, aquestes entrades de pols estan camuflant la periodicitat en la contaminació al mes d'octubre.
- Els sensors de la Bonanova i la Calatrava han estat els que han mostrat una relació més clara entre els pics de contaminació i una major presència de creuers. El sensor de Passeig Marítim, tot i la seva proximitat a port, sembla que per factors ambientals que no s'han tingut en compte en aquest anàlisi (com corrents de vent dominants a la zona on es troba instal·lat) no ha captat la contaminació dels creuers. El sensor de Pere Garau tampoc, donada la seva llunyania a port, fent-lo útil com a sensor control.
- El sensor que presenta les lectures de concentració de PM2.5 i PM10 més baixes ha estat el de Passeig Marítim, amb valors entre 0,362 i 9,11  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  per les PM2.5 i entre 1,21 i 24,5  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  per les PM10, i el més alt el de la Bonanova, amb valors de PM2.5 entre 1,02 i 75,9  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  i de PM10 entre 1,48 i 92,5  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ .
- El sensor de la Bonanova presenta un augment en la concentració de la contaminació entre les 10 i les 13h al mes d'agost, amb unes mitjanes de PM2.5 en aquest període que superen els límits tant de la OMS com de la UE. Aquest augment coincideix amb el temps d'estada dels vaixells a port, que presenten el 38,7% d'entrades entre les 5 i les 10h i el 29,04% de les sortides entre les 10 i les 14h. El màxim registrat ha estat de 33,14  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  a les 12h. Aquesta mateixa tendència s'observa pel tercer i el quart mes amb més escales de creuers (setembre i juliol), en ambdós la

concentració de PM2.5 ha superat les recomanacions de la OMS entre les 11h i les 13h, i al mes de juliol en concret a les 12h s'ha superat també el límit establert per la legislació europea. En el cas de les PM10, si tenim en compte només les dades respectives a la segona quinzena d'octubre, a les 10h també s'han superat els límits de la OMS. La segona quinzena presenta mitjanes horàries més altes de PM10 comparant amb la primera quinzena, donades les entrades de pols sahariana que es concentren entre dies 16-31 i que també camuflen la periodicitat que s'observa si agafem només dades de la primera quinzena. De totes formes aquesta no és tan marcada com al mes d'agost per les PM2.5, donat que a l'octubre tenim presència de creuers a port durant tot el dia.

- Les lectures del sensor de la Calatrava pel mes d'octubre per PM2.5 tot i presentar la mateixa periodicitat que el de la Bonanova pel mes d'agost per les mateixes partícules, presenta valors mitjans diaris més baixos que aquest. Això és degut a que els pics de contaminació que els dos sensors presenten entre les 10h i les 13h són molt més alts a la Bonanova, mentre que les mitjanes horàries a la Calatrava fora d'aquest període són lleugerament més altes. La mitjana diària per PM2.5 al mes d'octubre pel sensor de la Calatrava entre les 10h i les 13h ha estat de  $11,73 \mu\text{g} / \text{m}^3$  (superant els límits de la OMS), amb un màxim a les 13h de  $15,696 \mu\text{g} / \text{m}^3$ . Per les PM10 al mes d'octubre, el sensor de la Calatrava registra una mitjana diària de  $13,192 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , també més baixa que la presentada al mateix mes a la Bonanova. En aquest cas les entrades de pols sahariana també emmascaren la tendència quan agafem dades de tot el mes, que segueix sent més tímida que per les PM2.5, donada la presència constant de creuers a port aquest mes. Els límits de la OMS per les PM10 al mes d'octubre se supera a la segona quinzena a les 12h i a les 13h, amb valors de 23,619 i  $21,825 \mu\text{g} / \text{m}^3$ .
- El sensor de Passeig Marítim dona valors mitjans de contaminació molt baixos, tant per PM2.5 com per PM10, de  $3,475 \mu\text{g} / \text{m}^3$  i de  $9,725 \mu\text{g} / \text{m}^3$  respectivament. Tot i que si que s'aprecia la tendència de creixement al llarg del mes d'octubre donades les entrades de pols, en l'anàlisi diari no s'ha vist cap periodicitat relacionada amb la presència de creuers a

port. Això fa pensar que tot i estar captant les condicions ambientals comunes a tota la ciutat, la seva ubicació fa difícil que registri la contaminació provinent de port, pel que s'hauria de replantejar aquest punt.

- El sensor de Pere Garau dona com a mesos de màxima contaminació els febrer i desembre per PM2.5 i PM10 respectivament. Els valors mitjans registrats aquests mesos han estat de 4,273  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  al febrer i de 9,552  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  al desembre. La diferència entre el mes de desembre i octubre en quant a la concentració mitjana de PM10 ha estat molt baixa, essent a l'octubre de 9,386  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ . Aquests resultats tenen sentit donat que aparentment el sensor de Pere Garau és el que hauria de presentar menys influència de l'activitat portuària en els resultats, per tant és el que té més sentit que doni els màxims de contaminació mesos fora de l'època turística, i que aquesta vingui donada més a altres elements que no s'estan tenint en compte en aquest estudi.