Estudi de la contaminació atmosfèrica a Martorell

Adrià Cantarero i Raúl Velázquez

Tutor: Francesc Pérez

Adrià Cantarero i Raúl Velázquez
Estudi de la contaminació atmosfèrica a Martorell
Departament de tecnologia. Gener 2022
Tutor: Francesc Pérez

2n Batxillerat
Institut Pompeu Fabra
Av. Fèlix Duran i Cañameras, 3
08760, Martorell

Abstract

This work focuses on the study of air pollution in Martorell using different resources.

The motivation for this work arises with the problem of lack of data in public access websites of the Generalitat de Catalunya. Therefore, we decided to collect air pollution data by ourselves, as well as to study them in different ways.

In this project, we have analyzed hourly data of different atmospheric pollutants from 1991 to 2021 and combined them with another meteorological database (wind direction) to deduce where the pollution comes from. On the other hand, we have observed whether these values comply with current regulations. And we have represented them using the R language with the *Openair* library. In addition, we have created a prototype pollution station based on the Enviro+ sensor, to collect values of oxidising, reducing, ammonia (NH3) and particulate matter smaller than 1 (PM1), 2.5 (PM2.5) and 10 (PM10) micrometers. We have connected the above prototype with our website, using Python, JavaScript, HTML, CSS and Google Sheets, as well as the online tool Integromat. We have also connected it with an Android app, using *Python*, *MIT App Inventor*, *GoogleSheets* and *Integromat*, in order to have access to the data collected live. We have also analyzed the data obtained by our device with *RStudio* and *Openair*, as well as using t-Student to look for statistically significant differences of daytime and nighttime pollution and peak and off-peak hours. Finally, we have studied the scientific literature and have seen how air pollutants can adversely affect human health.

Keywords — Pollution, Martorell, HTML, Python, GoogleSheets, Integromat, RStudio, Openair, MIT App Inventor, Enviro+, oxidising, reducing, ammonia, particulate matter, health

Resumen

Este trabajo se centra en el estudio de la contaminación atmosférica en Martorell utilizando distintos recursos.

La motivación por este trabajo surge con el problema de falta de datos en webs de acceso público de la Generalitat de Catalunya. Por eso, decidimos recoger datos de contaminación atmosférica por nosotros mismos, al igual que estudiarlos de diferentes maneras.

En este proyecto, hemos analizado los datos horarios de diferentes contaminantes atmosféricos desde 1991 hasta 2021 y los hemos combinado con otra base de datos meteorológicos (dirección del viento) para deducir de dónde procede la contaminación. Por otra parte, se ha observado si estos valores cumplen la normativa vigente. Y las hemos representado utilizando el lenguaje R con la biblioteca *Openair*. Además, hemos creado un prototipo de estación de contaminación basado en el sensor Enviro+, para recoger valores de oxidantes, reductores, amoníaco (NH3) y partículas en suspensión menores a 1 (PM1), 2.5 (PM2.5) y 10 (PM10) micrómetros. Hemos conectado el prototipo anterior con nuestra página web, mediante *Python*, *JavaScript*, *HTML*, *CSS* y *GoogleSheets*, al igual que la herramienta online *Integromat*. También lo hemos conectado con una app Android, mediante *Python*, *MIT App Inventor*, *GoogleSheets* y *Integromat*, para tener acceso a los datos recogidos en directo. Asimismo, hemos analizado los datos obtenidos por nuestro aparato con *RStudio* y *Openair*, así como utilizar t-Student para buscar diferencias estadísticamente significativas de la contaminación diurna y nocturna y de horas punta y horas valle. Finalmente, hemos estudiado la literatura científica y hemos visto cómo los contaminantes atmosféricos pueden afectar de forma nociva a la salud humana.

Palabras clave — Contaminación, Martorell, HTML, Python, GoogleSheets, Integromat, RStudio, Openair, MIT App Inventor, Enviro+, oxidantes, reductores, amoníaco, partículas en suspensión, salud

Resum

Aquest treball es centra en l'estudi de la contaminació atmosfèrica a Martorell utilitzant diversos recursos.

La motivació per aquest treball sorgeix amb el problema de falta de dades en webs d'accés públic de la Generalitat de Catalunya. Degut a això, decidim recollir dades de contaminació atmosfèrica per nosaltres mateixos, al igual que estudiar-les de diferents maneres.

En aquest projecte, hem analitzat les dades horàries de diferents contaminants atmosfèrics des del 1991 fins al 2021 i les hem combinat amb una altra base de dades meteorològiques (direcció del vent) per deduir d'on prové la contaminació. D'altra banda, hem observat si aquests valors compleixen la normativa vigent. I les hem representat emprant el llenguatge R amb la biblioteca *Openair*. A més, hem creat un prototip d'estació de contaminació basat en el sensor Enviro+, per tal de recollir valors d'oxidants, reductors, amoníac (NH3) i partícules en suspensió menors a 1 (PM1), 2.5 (PM2.5) i 10 (PM10) micròmetres. Hem connectat el prototip anterior amb la nostra pàgina web, mitjançant *Python*, *JavaScript*, *HTML*, *CSS* i *GoogleSheets*, al igual que l'eina online *Integromat*. També l'hem connectat amb una app Android, mitjantçant *Python*, *MIT App Inventor*, *GoogleSheets* i *Integromat*, per tal de tindre accés a les dades recollides en directe. Així mateix, hem analitzat les dades obtingudes pel nostre aparell amb *RStudio* i *Openair*, així com utilitzar t-Student per buscar diferències estadísticament significatives de la contaminació diürna i nocturna i d'hores punta i hores vall. Finalment, hem estudiat la literatura científica i hem vist com els contaminants atmosfèrics poden afectar nocivament la salut humana.

Paraules clau — Contaminació, Martorell, HTML, Python, GoogleSheets, Integromat, RStudio, Openair, MIT App Inventor, Enviro+, oxidants, reductors, amoníac, partícules en suspensió, salut

Agraïments

Després de mesos treballant en aquest projecte, ens han ajudat una sèrie de persones, amb les que sense elles, aquest treball no hauria sigut possible.

Primerament, ens agradaria agrair a tots aquells professionals que pengen a Internet els seus estudis i projectes per a tot el públic, de manera que gent com nosaltres puguem consultar-los per tal d'avançar amb les tasques necessàries. De la mateixa manera, mereixen agraïment totes aquelles persones que mostren els seus dubtes en fòrums d'Internet, ja que nosaltres, tenint els mateixos dubtes, podem ser ajudats per les mateixes persones que van respondre.

Voldríem donar les gràcies a la Verònica Santamaria, la nostra professora de física, per donar-nos suport durant els difícils mesos de treball.

Per últim, aquest treball de recerca no hauria sigut possible sense el nostre tutor, el Francesc Pérez, ja que ell va ser el responsable d'introduir-nos al món de la programació i l'anàlisi de dades i motivar-nos a treballar en ell. A més, ens va proporcionar un extens rang de recursos per la representació de dades, al igual que facilitar-nos una gran varietat d'informació relacionada al tema, des de notícies de la OMS, fins a articles sobre les conseqüències de la pol.lució en la salut humana. Així mateix, agrair també al seu departament, el Departament de Tecnologia, responsable de capacitar-nos tots els materials utilitzats en aquest projecte.

Índex

1. Introducció **1**

1.1. Presentació del treball (02/08/2021) 1
1.2. Objectius (16/08/2021) 1
1.2.1. Objectius concrets (18/08/2021) 2
1.3. Organització del treball (26/08/2021) 3

2. Materials i mètodes **5**

2.1. Maquinari per a la construcció de l'estació (15/09/2021) 5
2.1.1. Raspberry Pi 5
2.1.2. Enviro + Air Quality 8
2.1.3. Sensors independents 12
2.2. Programari utilitzat per a la representació (29/09/2021) 14
2.2.1. RStudio (02/10/2021) 14
2.2.2. Integromat (03/10/2021) 15
2.2.3. MIT App Inventor (05/10/2021) 17

3. Resultats **23**

3.1. Representació de dades amb RStudio (10/10/2021) 23
3.2. Dades recollides per la Raspberry Pi (28/12/2021 - 25/01/2022) . . 36
3.2.1. Sensor MiCS-6814 36
3.2.2. Sensor PMS5003 39
3.3. Representació de dades pròpies amb Integromat (28/12/2021) 41
3.4. Representació de dades pròpies amb RStudio (10/01/2022) 48
3.4.1. t-Student (12/01/2022) 58
3.5. Mostra de dades pròpies amb MIT App Inventor (15/01/2022) . . . 63
3.6. Web HTML (17/01/2022) 64
3.7. Problemes de (hardware i) software (29/09/2021) 65
3.8. Construcció de l'estació (28/12/2021) 73

4. Discussió **77**

4.1. Comparació dels resultats obtinguts per la Raspberry Pi i els extrets de webs de la Generalitat (29/01/2022) 77
4.2. Informes anuals de Catalunya (15/01/2022) 78

4.3. Conseqüències de la contaminació atmosfèrica (17/01/2022) 82
4.4. WHO Global Air Quality Guidelines (04/02/2022) 87
4.5. Interpretació dels resultats (06/02/2022) 89

5. Conclusions **93**
5.1. Reflexions finals (10/02/2022) 94

Bibliografia **95**

A. Apèndix **99**
A.1. Codi de l'Enviro + Air Quality 99
A.2. Representació de dades amb RStudio 106
A.3. Funcionament d'Integromat 112
A.4. t-Student 114
A.5. Taules varies 115

1 Introducció

1.1 Presentació del treball (02/08/2021)

Uns mesos abans de l'elecció del tema del treball, vam començar a treballar en pràctiques de programació amb HTML, Javascript, CSS, Python i R. Ho vam gaudir tant, que vam decidir treballar en un projecte relacionat amb la programació.

Al treballar amb R (RStudio, editor del llenguatge de programació R), vam començar a tractar amb grans quantitats de dades de contaminació. No obstant, a l'hora de visualitzar aquestes dades, ens vam torbar amb un problema: les webs d'accés públic d'on les vam extreure ("Dades de contaminació atmosfèrica"[16] i "Dades meteorològiques"[17]) presentaven grans buits de dades amb absència d'aquestes durant, fins i tot, mesos i anys. Aquest punt es pot observar en l'apartat de RStudio en la secció de "Resultats i discussió" (3.1).

Donat aquest problema, i la importància del coneixement sobre la contaminació de la nostra zona, vam decidir estudiar de diferents maneres la contaminació atmosfèrica de Martorell. Per arribar a aquesta meta, ha sigut necessari el compliment de diversos objectius, esmentats en l'apartat següent.

1.2 Objectius (16/08/2021)

Primerament, tenim com a objectiu saber la contaminació atmosfèrica de Martorell al llarg del temps, per tal de conèixer la qualitat de l'aire en la nostra ciutat. Aquest objectiu es pot obtenir de dues maneres:

- Descarregant les dades de bases de dades de, per exemple, la Generalitat.
- Obtenint les dades nosaltres mateixos.

Degut al que observem en els gràfics de RStudio (3.1), l'opció de descarregar les dades queda descartada, ja que veiem grans buits ens les representacions, cosa que ens dificulta poder estudiar la situació de la zona. Per això, optem per la segona opció, la qual ens porta al següent objectiu.

Per tal d'obtenir dades de contaminació, és necessari construir una estació de recollida de dades. Aquesta estació serà la responsable de recollir les diferents dades al llarg del temps. El microcontrolador (Raspberry Pi) i els sensors utilitzats es troben en la secció *Materials i mètodes* (2.1).

Havent fet l'estació, és necessari presentar les dades d'una manera visual (gràfica) per al públic general. Per això donem diverses maneres a l'usuari per accedir a les dades o als gràfics, tots mostrats a la secció de *Resultats* (3). No obstant, hem passat per molts programes diferents abans d'escollir amb el que hem fet la representació (*Integromat*). Aquests programes es troben a l'apartat de *Problemes de (hardware i) software* (3.7).

Finalment, tenint les dades recollides i representades, les "discutim". Amb aquest objectiu, interpretem els resultats obtinguts, és a dir, mostrem la seva importància per als ciutadans. En l'apartat *Discussió* (4), parlem de com es poden millorar les dades que es presenten per part de la Generalitat, degut a l'alta importància de saber la qualitat de l'aire de la nostra ciutat o poble. De la mateixa manera, mostrem les diferents conseqüències de no tindre controlada la nostra contaminació atmosfèrica, extretes de diferents fonts mostrades en la *Bibliografia* (5.1).

És per les raons anteriorment mencionades que aquesta idea de projecte apareix. Per tant, els alumnes junt amb el nostre tutor decidim construir la nostra pròpia "estació de contaminació" per, posteriorment, analitzar els seus resultats i discutir-los tenint en compte informació de diferents fonts (5.1).

1.2.1 Objectius concrets (18/08/2021)

Seguidament esmentem els objectius numerats del treball.

1. Analitzar les dades horàries [16] de diferents contaminants atmosfèrics des del 1991 fins al 2021 i combinar-les amb una altra base de dades meteorològiques (direcció del vent) [17] per deduir d'on prové la contaminació. A més, veure si compleixen la normativa vigent [4.5], així com representar-les emprant el llenguatge R [10] amb la biblioteca *Openair* [25].

2. Crear un prototip d'estació basat en el sensor Enviro+ [2] i Raspberry Pi [1], capaç de mesurar en temps real diferents contaminants: reductors, oxidants, amoníac (NH3) i partícules en suspensió menors a 1 (PM1), 2.5 (PM2.5) i 10 (PM10) micròmetres.

3. Connectar el prototip anterior amb la nostra pàgina web [21], mitjançant *Python*, *JavaScript*, *HTML*, *CSS* i *GoogleSheets*, emprant l'eina online *Integromat* (després de provar diferents opcions (3.7)).

4. Connectar el prototip mesurador de contaminació amb una app Android [20], mitjantçant *Python*, *MIT App Inventor*, *GoogleSheets* i *Integromat*.

5. Analitzar les dades obtingudes pel nostre aparell amb *RStudio* i *Openair* [25], emprant t-Student (3.4.1) per buscar diferències estadísticament significatives de la contaminació diürna i nocturna i d'hores punta i hores vall.

6. Analitzar la literatura científica per veure com els contaminants atmosfèrics poden afectar la salut humana (4.3).

1.3 Organització del treball (26/08/2021)

Per tal de fer aquest treball, hem utilitzat el mètode científic. De manera que hem estructurat el treball de la següent manera.

Primerament, en la secció 2 esmentem els materials i mètodes utilitzats per tal de complir amb els objectius presentats en aquesta introducció. A continuació, en la secció 3 mostrem els diferents resultats obtinguts utilitzant els recursos esmentats en la secció 2. Seguidament, analitzem, discutim i interpretem aquests resultats en la secció 4. Finalment, extraiem unes breus conclusions 5 i mostrem unes reflexions generals sobre el treball en conjunt.

2 Materials i mètodes

> *Data is a precious thing and will last longer than the systems themselves.*
>
> **— Tim Berners-Lee**
> (Inventor of the World Wide Web)

Anteriorment, hem presentat els diferents objectius d'aquest treball. A continuació, mostrem els materials i recursos que hem utilitzat per obtenir les diferents dades de contaminació i meteorologia de Martorell, al igual que la seva representació.

2.1 Maquinari per a la construcció de l'estació (15/09/2021)

2.1.1 Raspberry Pi

Per tal de construir la nostra estació de recollida de dades, la solució més personal i "editable" és utilitzar una Raspberry Pi [1], ja que som nosaltres els qui decidim les dades que recollirà el microcontrolador, al igual que els responsables de programar els diferents codis per a que els sensors de la Raspberry Pi funcionin, aspecte que ens obre un ampli ventall de possibilitats a l'hora de crear la nostra estació. En el nostre cas, hem utilitzat una *Raspberry Pi 4 Model B* (2.1).

La Raspberry Pi és un ordinador de baix cost (2.1), de la mida d'una targeta de crèdit, que es connecta a un monitor d'ordinador o a un televisor i utilitza un teclat i un ratolí estàndard. És un petit dispositiu capaç de permetre a persones de totes les edats explorar la informàtica i aprendre a programar en llenguatges com Scratch i Python. És capaç de fer tot el que s'espera d'un ordinador de sobretaula, des de navegar per Internet i reproduir vídeo d'alta definició, fins a fer fulls de càlcul, processar textos i jugar.

A més, la Raspberry Pi té la capacitat d'interactuar amb el món exterior i s'ha utilitzat en una àmplia gamma de projectes de creació digital, des de màquines de

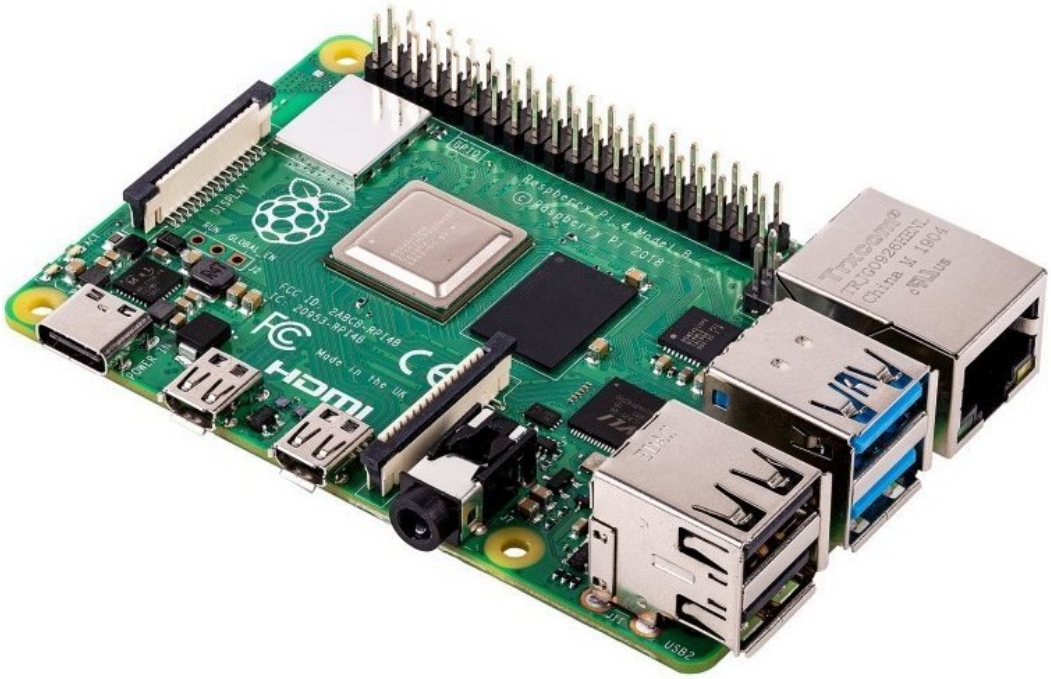


Fig. 2.1.: Raspberry Pi 4 Model B

música i detectors de pares fins a estacions meteorològiques i gàbies amb càmeres d'infrarojos.

Funcionament d'una Raspberry Pi Per utilitzar-la, és necessari connectar perifèrics d'entrada i sortida per a poder interactuar, com una pantalla, un ratolí i un teclat. A més, hem de gravar un sistema operatiu per a la Raspberry Pi a la targeta SD, anomenat Raspbian (2.1.1). Finalment, l'hem de connectar a la xarxa elèctrica i ja estaria preparada per ser utilitzada.

Sistema Operatiu Ja coneixem els famosos sistemes operatius com Windows o Mac OS, pels ordinadors, o Android, pels dispositius mòbils, però una Raspberry Pi utilitza un sistema operatiu anomenat Linux que, a diferència dels anteriorment mencionats, és de codi obert, és a dir, tothom pot millorar el seu software.

Raspbian

Per usar la Raspberry Pi, hem utilitzat Raspbian, un sistema operatiu lliure basat en la distribució de Linux anomenada Debian i optimitzat per al hardware de Raspberry Pi, cal destacar que s'ha convertit en el sistema operatiu de Raspberry Pi per excel.lència gràcies al seu continu desenvolupament.

Especificacions La placa Raspberry Pi es compon d'una memòria de programa (RAM), un processador i un xip gràfic, una CPU, una GPU, un port Ethernet, pins GPIO, una presa Xbee, un UART, un connector per a la font d'alimentació. I diverses interfícies per a altres dispositius externs. També requereix d'emmagatzematge massiu, per a això utilitzem una targeta de memòria flash SD. De manera que la placa Raspberry Pi arrencarà des d'aquesta targeta SD de manera similar a com un PC arrenca en Windows des del seu disc dur. En la figura 2.2 es mostren els diferents components de la Raspberry Pi i un diagrama dels pins GPIO.

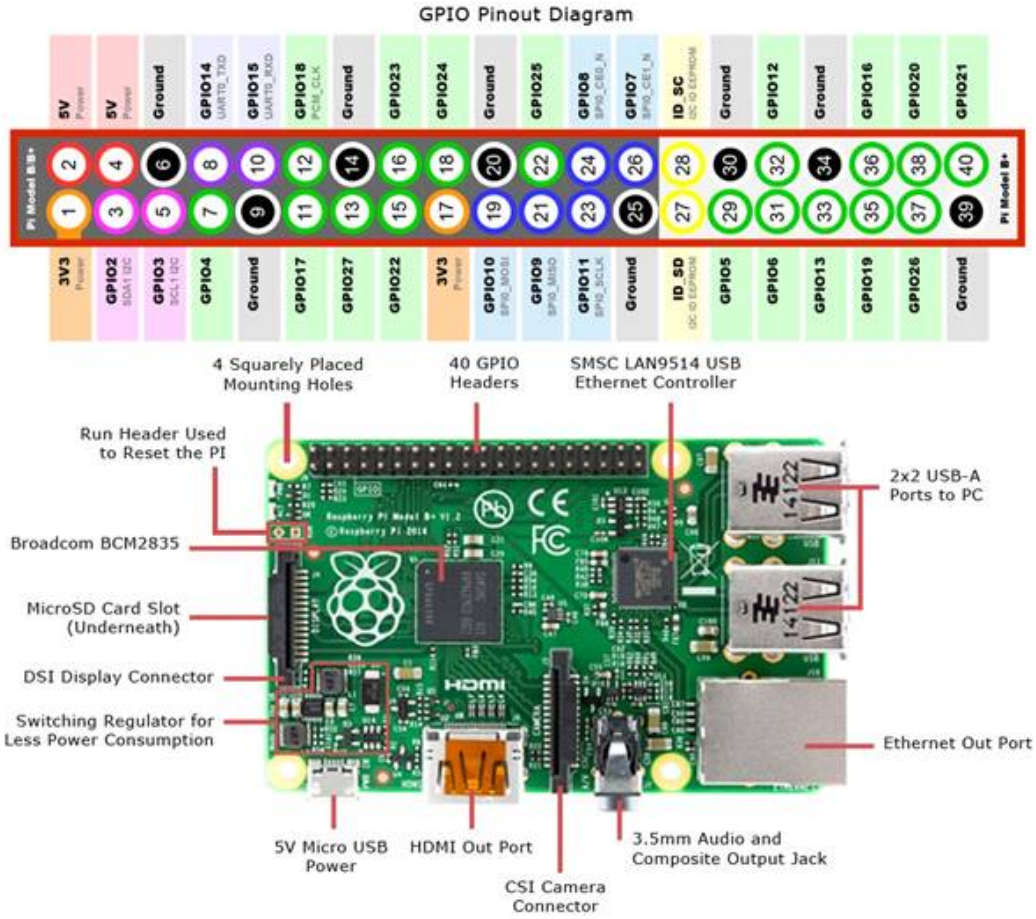


Fig. 2.2.: Especificacions de Hardware d'una Raspberry Pi

Les especificacions de hardware essencials de la placa Raspberry Pi inclouen principalment la targeta SD que conté el sistema operatiu Linux, el teclat americà, el monitor, la font d'alimentació i el cable HDMI.

La Raspberry Pi és un SOC (system on xip board) Broadcom BCM2835. Ve equipada amb una CPU de 700 MHz, 512 MB de SDRAM i nucli ARM1176JZF-S. L'Ethernet de la Raspberry Pi és la principal porta d'enllaç per interconnectar-se amb altres dispositius i amb Internet en el model B. Pren l'energia d'un adaptador micro USB,

amb un abast mínim de 2,5 watts (500 MA). A continuació, es mostra una llista detallada de les especificacions del microcontrolador:

- Memòria SDRAM de 512 MB
- Processador multimèdia d'alta definició Broadcom BCM2835 SoC
- Coprocessador multimèdia Dual Core Video IV
- Un sol connector USB 2.0
- HDMI (rev 1.3 i 1.4) RCA compost (PAL i NTSC) Sortida de vídeo
- Presa de 3,5 MM, sortida d'àudio HDMI
- Ranura per a targetes MMC, SD, SDIO d'emmagatzematge a bord
- Sistema operatiu Linux
- Les dimensions són 8,6cm * 5,4cm * 1,7cm
- Presa RJ45 Ethernet 10/100 integrada

2.1.2 Enviro + Air Quality

A continuació, esmentarem els diversos sensors que formen part de l'Enviro + [2], que hem utilitzat per mesurar diferents dades atmosfèriques. Per això, hem hagut de programar la recollida de dades. Explicarem els diferents sensors, com funcionen i enllacem el codi per a la lectura de dades.

Dissenyat per a la monitorització ambiental, Enviro + permet mesurar la qualitat de l'aire (gasos contaminants i partícules), la temperatura, la pressió, la humitat, la llum i el nivell de soroll. Quan es combina amb un sensor de partícules (2.1.2), és ideal per a monitoritzar la qualitat de l'aire a l'exterior, o sense el sensor de partícules es pot utilitzar per monitoritzar les condicions interiors (2.3).

És una alternativa assequible a les estacions de control ambiental que poden costar desenes de milers d'euros, és petit i et permet contribuir amb les teves dades als esforços de ciència ciutadana per controlar la qualitat de l'aire a través de projectes com Luftdaten [...].

Abans de tractar el hardware de la placa, mostrem el software d'aquesta. Per a la correcta lectura de les diferents dades és necessari executar el codi que combina totes

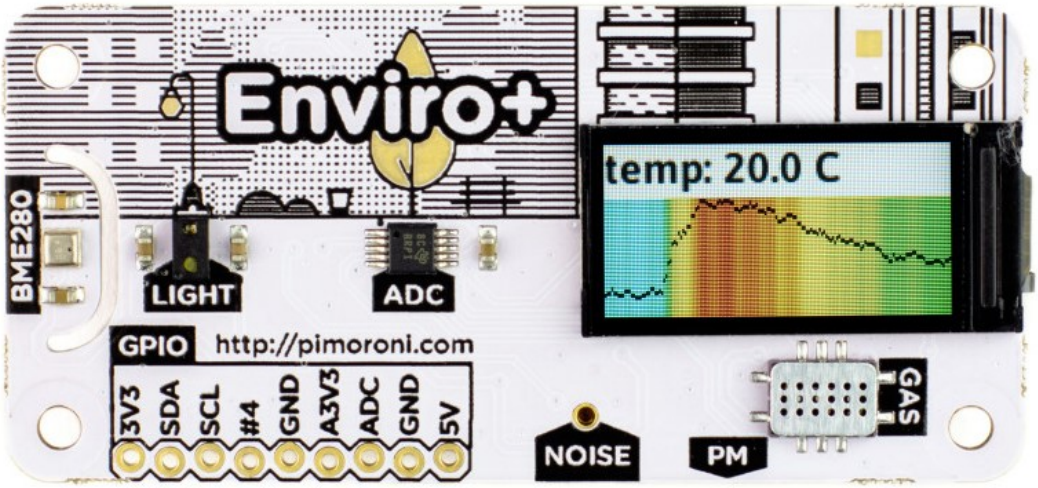


Fig. 2.3.: Sensor Enviro +

les diferents dades. Aquest codi el podeu trobar en el primer apartat de l'apèndix d'aquest mateix document (A.1).

Seguidament, veurem el que fan les diferents parts de la placa.

BME280 sensor de temperatura, pressió i humitat

El BME280 és un petit sensor que mesura la temperatura, la pressió i la humitat. La contaminació de l'aire, i les partícules (més endavant parlarem d'elles) especialment, es poden veure afectades pels canvis en el clima, de manera que tenir un sensor d'aquest tipus en l'Enviro + és realment útil. També és ideal per a la monitorització d'interiors, si vols controlar les condicions de casa teva, per exemple.

En l'Enviro +, el sensor BME280 està situat a l'esquerra de la placa, i s'ha col.locat allà deliberadament perquè estigui allunyat de la CPU de la Raspberry Pi. També hi ha una petita ranura situada al costat del sensor que ajuda a reduir la calor que s'irradia a través de la placa Enviro + cap al sensor.

LTR-559 sensor de llum i proximitat

Aquest sensor pot llegir el nivell de llum ambiental en Lux (una unitat d'intensitat de llum) i també té un sensor de proximitat. El LTR-559 és el mateix tipus de sensor que està al costat de la càmera del teu telèfon mòbil i que atenua i aclareix automàticament la pantalla en funció del nivell de llum i desactiva la pantalla tàctil quan està al costat de la teva orella.

A més de ser fantàstic per llegir el nivell de llum, el sensor de proximitat de l'LTR-559 és realment útil com a entrada sensible a la proximitat. No obstant, en aquest treball no l'hem utilitzat per això.

MICS6814 sensor de gas analògic i ADS1015 convertidor analògic-digital (ADC)

El MICS6814 és un sensor de gas analògic que pot detectar tres grups diferents de gasos a què es refereixen com reductors, oxidants i NH3. Els principals gasos que detecta el sensor són: monòxid de carboni (reductors), diòxid de nitrogen (oxidants) i amoníac (NH3), però també és sensible a uns altres, com l'hidrogen, l'etanol i els hidrocarburs.

Cadascun dels tres grups de gasos és efectivament el seu propi sensor dins del MICS68141, i les lectures de tensió analògica que el sensor produeix són llegides per un convertidor analògic-digital (ADC) i després convertides en resistències pel nostre codi. Aquestes resistències aniran des de baixos centenars d'Ohms fins a desenes de milers d'Ohms, i varien depenent dels nivells de cada grup de gasos.

Atès que cada grup de gasos pot ser una barreja de diferents gasos, no és possible distingir un gas en concret ni quantificar-ne els nivells amb precisió, de manera que el sensor només ens aporta una idea aproximada de si la qualitat de l'aire està augmentant o disminuint.

Les lectures de les resistències reductores i de NH3 disminuiran al augmentar les concentracions dels gasos que detecten, i el sensor oxidant augmentarà al augmentar els nivells de diòxid de nitrogen.

Sensor de partícules (PM) PMS5003

Aquest sensor és un complement opcional per al Enviro + i es connecta, mitjançant un cable inclòs amb el sensor, al connector de la part inferior de l'Enviro + (2.4).

Una gran part del que considerem "contaminació de l'aire" són les partícules. Aquestes partícules varien en grandària i tipus, des de les més grans com la pols, el pol.len i les espores de floridura, fins a les més petites com les partícules de fum (de la combustió), els ions metàl.lics i altres partícules orgàniques.

El PMS5003 té un petit ventilador que aspira l'aire a través del dispositiu i un làser que detecta el nombre i la mida de les partícules en l'aire que passa. Dóna sortida a tres números: PM1.0, PM2.5 i PM10. Aquests nombres es refereixen a la mida de les partícules en micres, per la qual cosa PM10 són partícules de 10 micres i més petites, PM2.5 són partícules de 2,5 micres i més petites, i PM1.0 són partícules d'1 micra i més petites. Els números que mostra el sensor són la concentració de cada un d'aquests mides de partícules en $\mu g/m^3$.

El sensor de partícules és més útil en exteriors, ja que el nivell de partícules no varia molt en interiors.

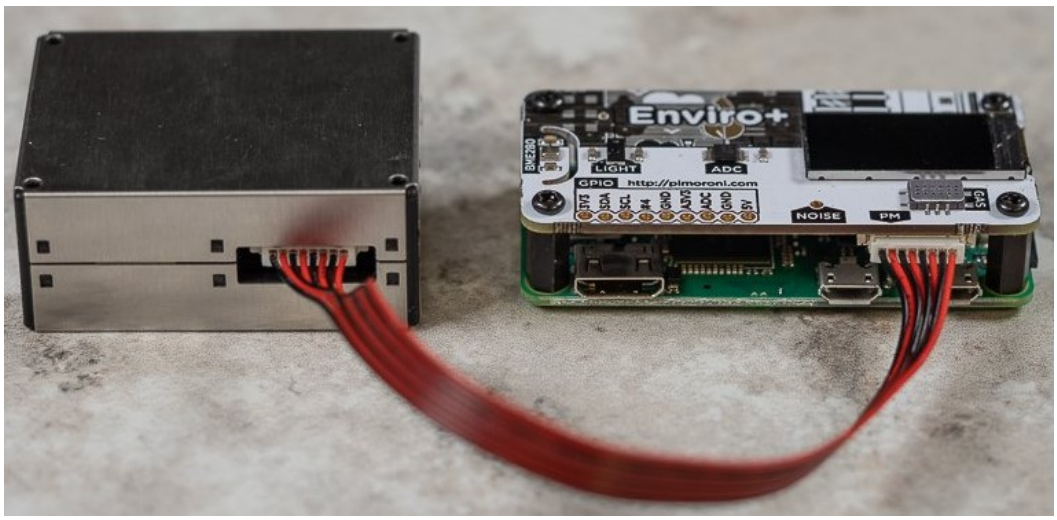


Fig. 2.4.: Sensor Enviro +, combinat amb el sensor de partícules

Micròfon MEMS

L'Enviro + té un diminut micròfon MEMS que permet gravar àudio o detectar nivells de soroll. És molt bo per controlar els nivells de contaminació acústica, però en aquest treball no l'hem utilitzat.

LCD en color 0,96 "(160x80)

La petita pantalla LCD del Enviro + és una forma molt útil de mostrar les dades en directe dels sensors incorporats. La pantalla és una pantalla IPS, per la qual cosa és de gran qualitat per a una pantalla de la seva grandària, i és impulsat per SPI perquè pugui actualitzar amb força rapidesa.

Complicacions

No obstant, hem investigat sobre aquests tipus de sensors (de baix cost). I és interessant mencionar que l'obtenció de dades de qualitat amb aquests sensors PM de baix cost és complicat, ja que aquests són sensibles a molts factors. La majoria dels treballs han demostrat que la RH (humitat relativa) comença a afectar significativament els sensors de baix cost de PM quan supera el 80-85% ([3], [4], [5]), tot i que altres estudis [6] van demostrar que l'impacte pot començar al 65-70%.

2.1.3 Sensors independents

Una altra forma de recopilar les nostres dades és a partir de sensors connectats, a diferencia de l'Enviro +, de manera independent en el microcontrolador. Encara que nosaltres hem utilitzat l'Enviro +, recomanem l'ús dels següents sensors com alternativa.

MG811 - CO_2

El MG811 és un sensor pur de CO_2 amb poca sensibilitat a altres compostos. Són especialment recomanables en ambients on la concentració de CO_2 pugui ser alta o ràpidament variable, com en cellers i tancs de fermentació.

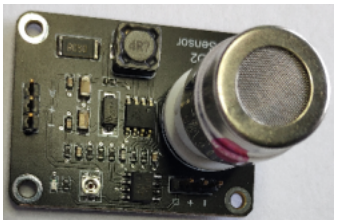


Fig. 2.5.: Sensor MG811

MQ-6 - hidrocarburs (metà, propà ...)

El sensor MQ-6 és adequat per detectar la presència de gas LP, compost principalment per propà i butà i gas natural (metà) en l'aire. El sensor pot detectar concentracions de gas entre 200 i 1000 ppm i és d'utilitat per a detecció de fuites de gas a la llar i en la indústria. La seva velocitat de resposta és bastant bona, per la qual cosa pot activar qualsevol dispositiu de manera oportuna.

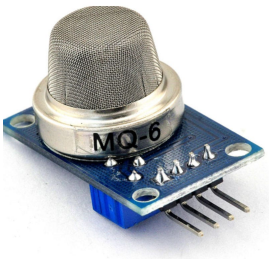


Fig. 2.6.: Sensor MQ-6

DHT11/DHT22 - temperatura i humitat

El DHT11 és un sensor digital de temperatura i humitat relativa de baix cost i fàcil ús. Integra un sensor capacitiu d'humitat i un termistor per mesurar l'aire circumdant, i mostra les dades mitjançant un senyal digital (no posseeix sortida analògica). És utilitzat en aplicacions acadèmiques relacionades al control automàtic de temperatura, aire condicionat, monitorització ambiental en agricultura i més.

Utilitzar el sensor DHT11 amb les plataformes Arduino o Raspberry Pi és molt senzill tant a nivell de software com hardware. A nivell de programari es disposa de llibreries per Arduino i Raspberry Pi. Pel que fa al hardware, només cal connectar el pin VCC d'alimentació a 3-5V, el pin GND a Terra (0V) i el pin de dades a un pin digital.

En comparació amb el DHT22 i DHT21, aquest sensor és menys precís, menys exacte i funciona en un rang més petit de temperatura i humitat, però el seu empaquetatge és més petit i de menor cost.

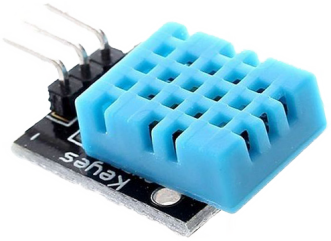


Fig. 2.7.: Sensor DHT11

MQ-3 - etanol

El sensor MQ-3 és apte per a detectar la concentració d'alcohol en l'ambient o per detectar alcohol en l'alè d'una persona, just com ho faria un alcoholímetre. El MQ-3 posseeix una gran sensibilitat i temps de resposta. La sortida del sensor és de tipus analògica (resistiu) que varia en funció de la concentració d'alcohol detectada. El sensor utilitza un petit escalfador amb un sensor electroquímic. Quan el sensor detecta molècules d'alcohol en l'aire, aquest condueix més corrent.

Fig. 2.8.: Sensor MQ-3

MQ-7 - CO

El sensor MQ-7 permet mesurar monòxid de carboni (CO), ideal per detectar concentracions nocives de CO en l'aire i així evitar els seus efectes a la salut. El sensor MQ-7 pot detectar concentracions en el rang de 20 a 2000ppm.

Fig. 2.9.: Sensor MQ-7

MQ-2 - LPG

El sensor MQ2 és útil per a la detecció de fuites de gas (a la llar i la indústria). És capaç de detectar gas liquat, butà, metà, alcohol, hidrogen i fum. La sensibilitat pot ser ajustada pel potenciòmetre.

Fig. 2.10.: Sensor MQ-2

2.2 Programari utilitzat per a la representació (29/09/2021)

Per altra banda, el treball consta d'una gran part de codi: el codi amb el que representem les dades. En aquest apartat, explicarem com hem programat la part més complexa i complicada del treball: la forma de representar les dades obtingudes a partir dels sensors.

2.2.1 RStudio (02/10/2021)

Per al primer anàlisi de dades hem utilitzat R [10], un llenguatge de programació i un entorn de programari lliure per a la computació estadística i els gràfics, recolzat pel *R Core Team* i la *R Foundation for Statistical Computing*. És àmpliament utilitzat en estadística i l'anàlisi de dades.

Com s'indica en el paràgraf anterior, R és un llenguatge pensat per l'estadística, la representació de dades en gràfics. Anteriorment, ja vam treballar amb aquest

llenguatge i el recomanem a tot aquell que necessiti representar les seves dades de forma gràfica, sempre que disposi d'una font amb una bona quantitat de dades i sense "buits" en alguns marges de temps, com és el cas aquí.

Per tal d'arribar a fer gràfics com els que mostrem en l'apartat 3.1, és necessari seguir una sèrie de passos, explicats detalladament en l'apèndix d'aquest mateix document (A.1), degut a la seva llarga extensió.

2.2.2 Integromat (03/10/2021)

Integromat [7] és una potent plataforma d'integració que permet als usuaris connectar diferents aplicacions mitjançant una interfície visual fàcil d'utilitzar, ja que es treballa amb el mètode d'arrossegar i deixar anar, i redueix en gran part el temps de programació.

En el programa, s'arrosseguen i deixen anar les aplicacions que es volen connectar i, a partir d'aquí, tot el procés està automatitzat.

Per tal de connectar la Raspberry Pi al *Integromat*, és necessari importar el mòdul *requests*[1] a Python, utilitzar les instruccions d'aquest mateix mòdul per enviar les diferents variables i posar la url webhook (2.11) que ens proporciona *Integromat* perquè es connectin (2.12).

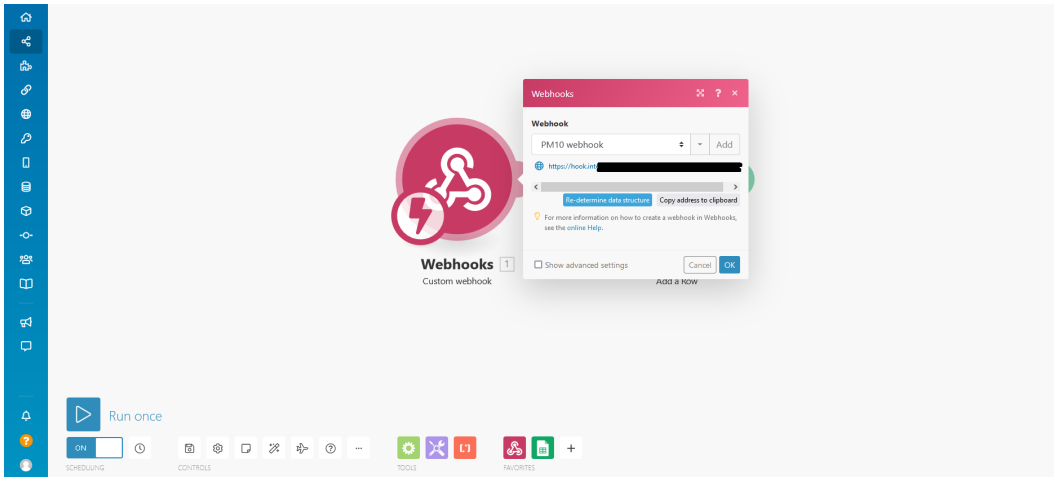


Fig. 2.11.: Captura de la interfície d'*Integromat*, on s'oberva el link que fa possible la connexió entre el codi Python i *Integromat* (al igual que al *GoogleSheets*). Font pròpia

[1]Requests és un biblioteca HTTP per a Python. Ens permet enviar peticions HTTP/1.1 de forma senzilla. No cal afegir manualment cadenes de consulta a les nostres URL, o de codificar les nostres dades POST.

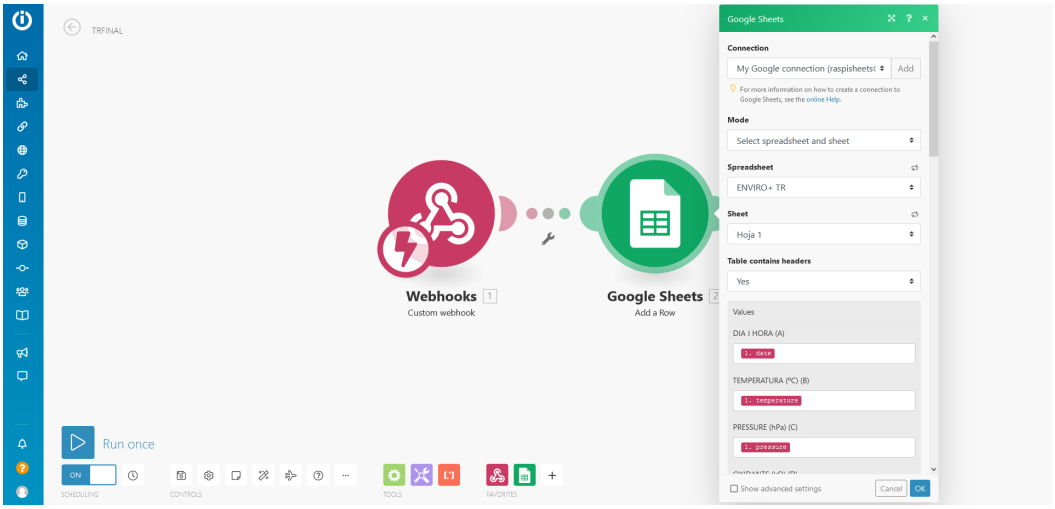


Fig. 2.12.: Captura de la interfície d'*Integromat*, on s'observa la correcta connexió entre l'*Integromat* i el *GoogleSheets*. Font pròpia

Quan reconegui el codi (acció que es realitza quan aquest s'executa, sempre que no hi hagi cap problema), a la interfície d'*Integromat* apareixeran totes les variables que volem enviar (2.13). Les hem de seleccionar i ja es podrien començar a enviar quan vulguem.

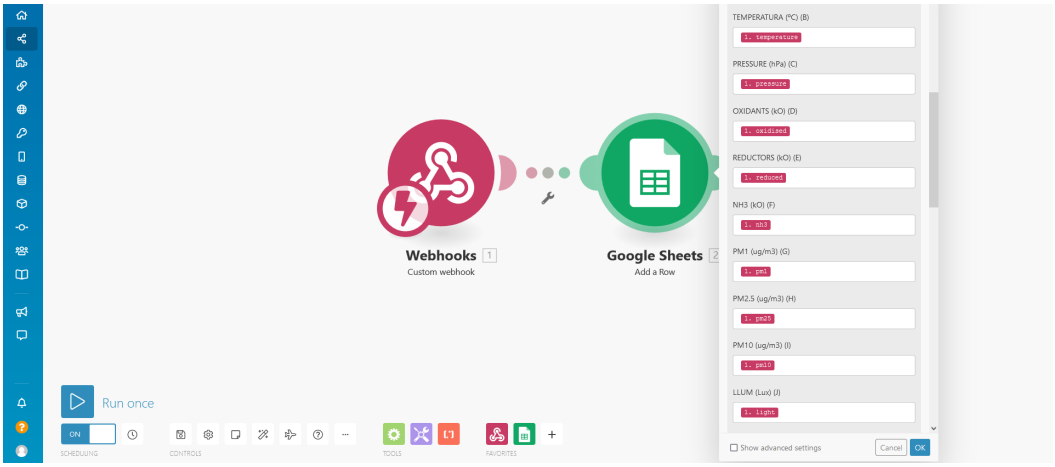


Fig. 2.13.: Captura de la interfície d'*Integromat*, on s'observen les variables que *Integromat* reconeix del codi Python. Font pròpia

Publicar els resultats en la web

Per tal de mostrar els resultats (taula i gràfics) obtinguts amb *Integromat* al públic de manera totalment oberta, els hem publicat en una web (3.6) [8] [9].

Per publicar aquests resultats i que el gràfic es vagi actualitzant com al *GoogleSheets*, només cal publicar-ho (2.14) i obtenir el seu "link/embed" (2.15).

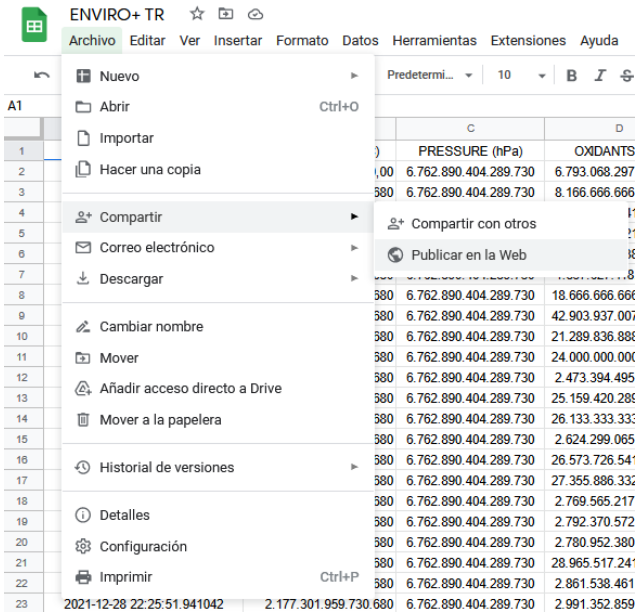


Fig. 2.14.: Captura del primer pas per a publicar els resultats en la web. Font pròpia

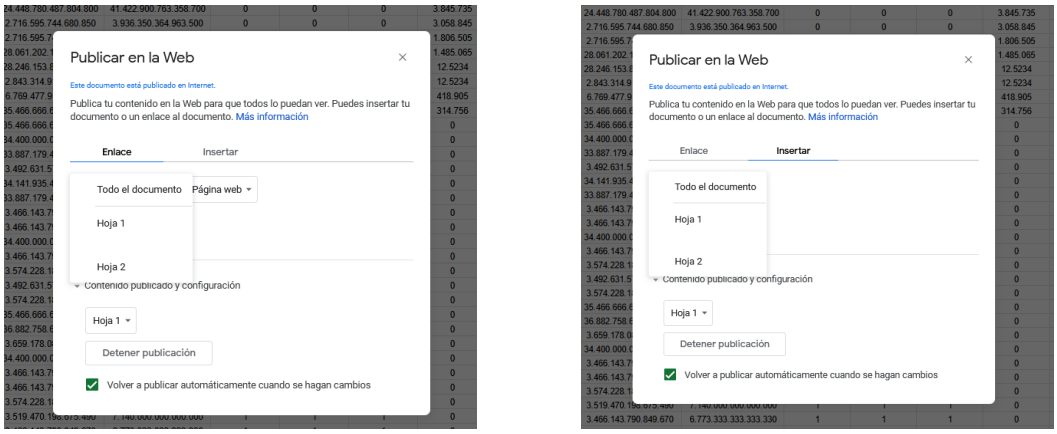


Fig. 2.15.: Captures del segon i tercer pas per a publicar els resultats en la web. Font pròpia

Per això, no el descarreguem en format HTML per pujar-lo a les nostres webs, ja que els gràfics no s'actualitzarien en temps real.

2.2.3 MIT App Inventor (05/10/2021)

Per a crear l'aplicació mòbil on es mostren les nostres dades hem utilitzat *MIT App Inventor*, un entorn de programació intuïtiu i visual que permet crear aplicacions totalment funcionals per a *Android*.

A continuació, mostrem el que hem utilitzat per tal d'obtenir l'aplicació que mostrem en la secció de *Resultats* (3).

Primerament, és necessari utilitzar el següent codi per tal d'enllaçar el nostre *GoogleSheets* amb el *MIT App Inventor*.

List. 2.1: Codi d'enllaç entre *GoogleSheets* i *MIT App Inventor*. Font: [8

```
function doGet(e) {
 ManageSheet(e);  }

 doPost(e) {
 ManageSheet(e);  }

 ManageSheet(e) {

 ALL RECORDS
.parameter.func == "ReadAll") {
ss = SpreadsheetApp.getActive();
sh = ss.getSheets()[0];
rg = sh.getDataRange().getValues();
outString = '';
r(var row=0 ; row<rg.length ; ++row){
outString += rg[row].join(',') + '\n';  }

rn ContentService.createTextOutput(outString).setMimeType
tentService.MimeType.TEXT); }

ETE SINGLE RECORD
if (e.parameter.func == "Delete") {
record = e.parameter.id;
ss = SpreadsheetApp.getActive();
sh = ss.getSheets()[0];
eleteRow(parseInt(record) + 1);
rn ContentService.createTextOutput("Success");  }

 SINGLE RECORD
if ( e.parameter.func == "ReadRecord") {
ss = SpreadsheetApp.getActive();
sh = ss.getSheets()[0];
rg = sh.getDataRange().getValues();
outString = '';
tring += rg[parseInt(e.parameter.id)].join(',');
rn ContentService.createTextOutput(outString).setMimeType
tentService.MimeType.TEXT);  }

TE SINGLE RECORD
if (e.parameter.func == "Update") {
ss = SpreadsheetApp.getActive();
sh = ss.getSheets()[0];
data = [ [ e.parameter.first, e.parameter.last, e.parameter.gender,
rameter.country, e.parameter.age ] ];
etRange("B"+(parseInt(e.parameter.id)
":F"+(parseInt(e.parameter.id)+1)).setValues(data);
rn ContentService.createTextOutput("Success"); }
```

```
TE NEW RECORD
parameter.func == "Create") {

ss = SpreadsheetApp.getActive();

sh = ss.getSheets()[0];

data =[e.parameter.id, e.parameter.first,
rameter.last, e.parameter.gender, e.parameter.country, e.parameter.age]
                                                    ;

ppendRow(data);

rn ContentService.createTextOutput("Success");  }   }
```

Aquest codi l'hem de ficar a l'AppScript (2.16) del *GoogleSheets*, per tal d'obtenir l'enllaç que fa possible la connexió entre *MIT App Inventor* i *GoogleSheets*. Cal esmentar que l'apartat de codi per a esborrar les cel.les des de l'aplicació no l'utilitzem, ja que no ens interessa.

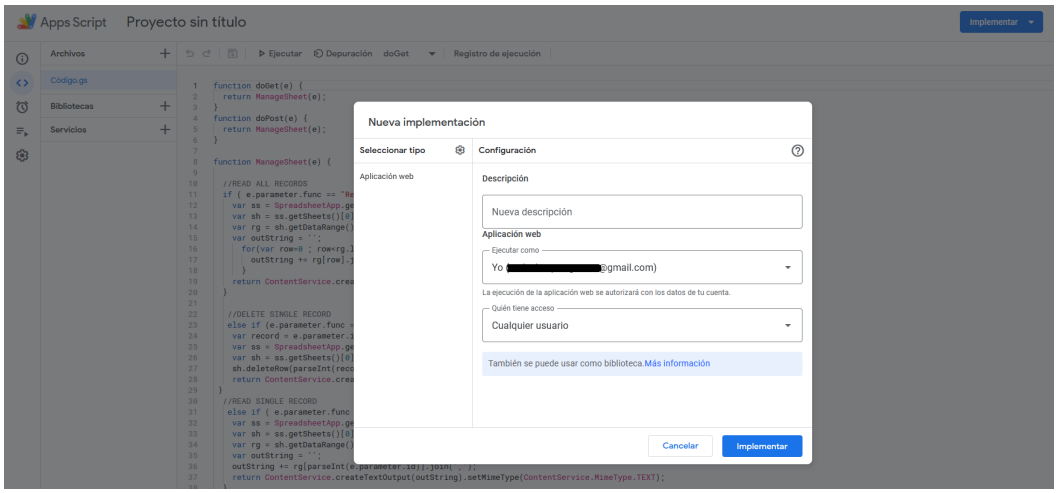


Fig. 2.16.: Captura de l'obtenció de l'enllaç en l'AppScript. Font pròpia

A continuació, hem de dissenyar la interfície de la nostra aplicació. En la figura 2.17 mostrem els components del disseny de l'aplicació en l'editor *MIT App Inventor*.

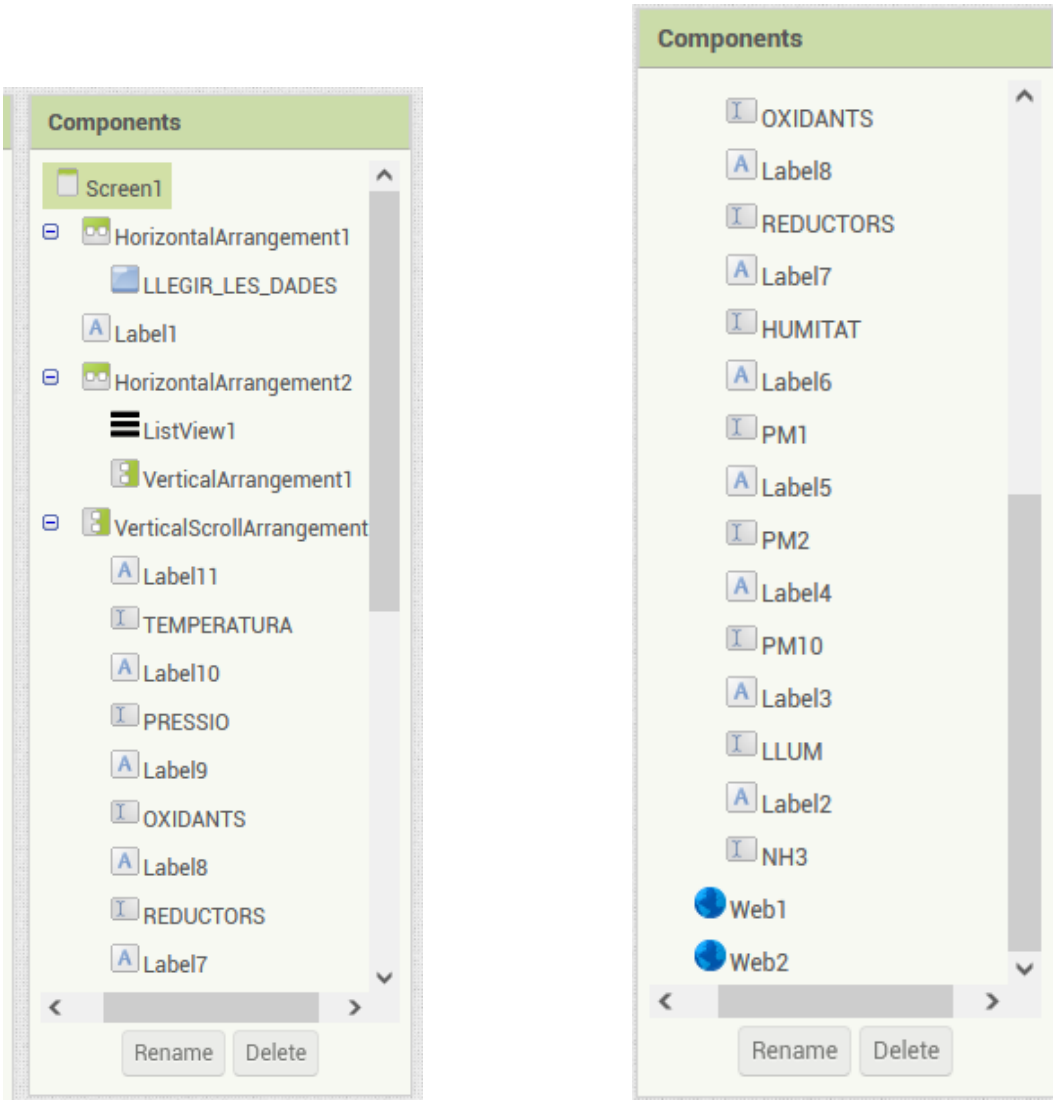


Fig. 2.17.: Captures del disseny de l'app. Font pròpia

Per tal de connectar l'aplicació al *GoogleSheets*, és també necessari programar dins l'editor de *MIT App Inventor*. No obstant, la programació es fa utilitzant "blocs", similars a un trencaclosques. Degut a problemes amb els decimals (explicat en l'apartat 3.5), hem hagut de fer els blocs mostrats en les figures 2.18, 2.19 i 2.20.

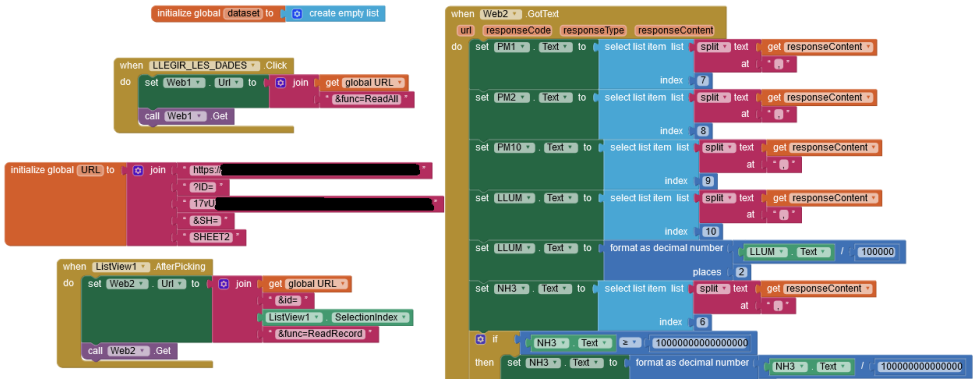


Fig. 2.18.: Blocs utilitzats per a la connexió (1). Font pròpia

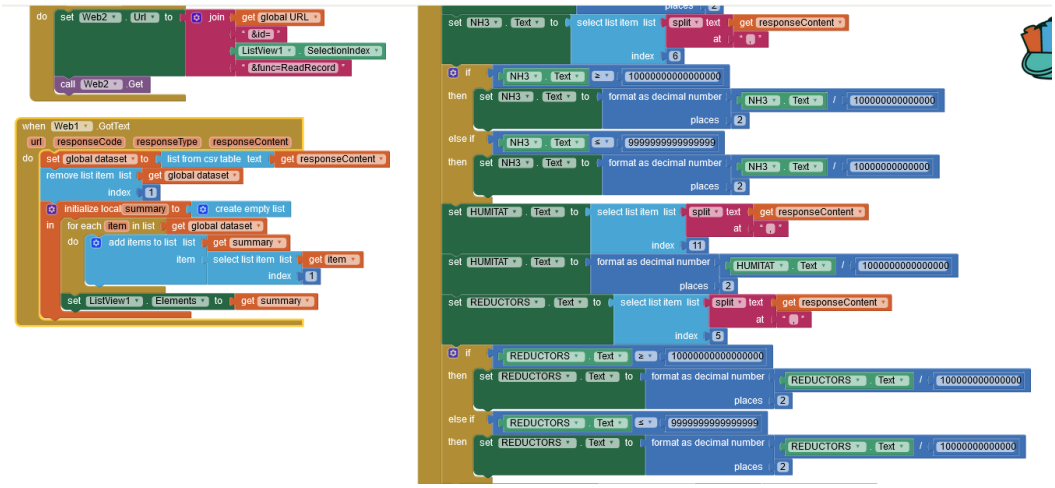


Fig. 2.19.: Blocs utilitzats per a la connexió (2). Font pròpia

Fig. 2.20.: Blocs utilitzats per a la connexió (3). Font pròpia

Resultats

3

> *Users do not care about what is inside the box, as long as the box does what they need done.*
>
> **— Jef Raskin**
> about Human Computer Interfaces

En aquesta secció, tractarem els diversos resultats que hem obtingut utilitzant diferents tècniques, com RStudio, Integromat o MIT App Inventor. De la mateixa manera, parlarem dels problemes amb els que ens hem trobat, a l'hora de treballar amb diferents programes de visualització de dades. I per últim, tractarem el projecte de futur que tenim amb la construcció d'una estació meteorològica i de qualitat de l'aire fixa i permanent.

3.1 Representació de dades amb RStudio (10/10/2021)

Primerament, presentem R com una manera de representar dades de contaminació, en aquest cas, de webs d'accés públic de la *Generalitat de Catalunya* i el *Servei Meteorològic de Catalunya*, la *Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques* (XEMA). Les webs són les següents:

- "Dades de contaminació atmosfèrica" [16]
- "Dades meteorològiques" [17]

A continuació, mostrem alguns gràfics realitzats per nosaltres amb R Studio, representant dades de contaminació atmosfèrica des del 1991 fins al 2021 a Martorell, per així estudiar la qualitat de l'aire de la ciutat. L'explicació completa dels passos a seguir per obtenir els diferents gràfics es troba a l'apèndix d'aquest mateix document (A.2), al igual que l'explicació detallada en les nostres webs (programades amb llenguatge html):

- "`https://adriacantarero.neocities.org/R/index.html`"[18]
- "`https://raulvelazquez.neocities.org/RStudio/index.html`"[19]

Time Variation En aquesta gràfica es mostra l'evolució del contaminant PM10 durant diferents marges de temps en la ciutat de Martorell (3.1). El gràfic el creem a partir de la següent instrucció, després d'haver fet els anteriors passos de la pràctica (3.1):

List. 3.1: Instrucció per crear la gràfica "Time Variation"

```
1 timeVariation(martorell5PM10, pollutant="value")
```

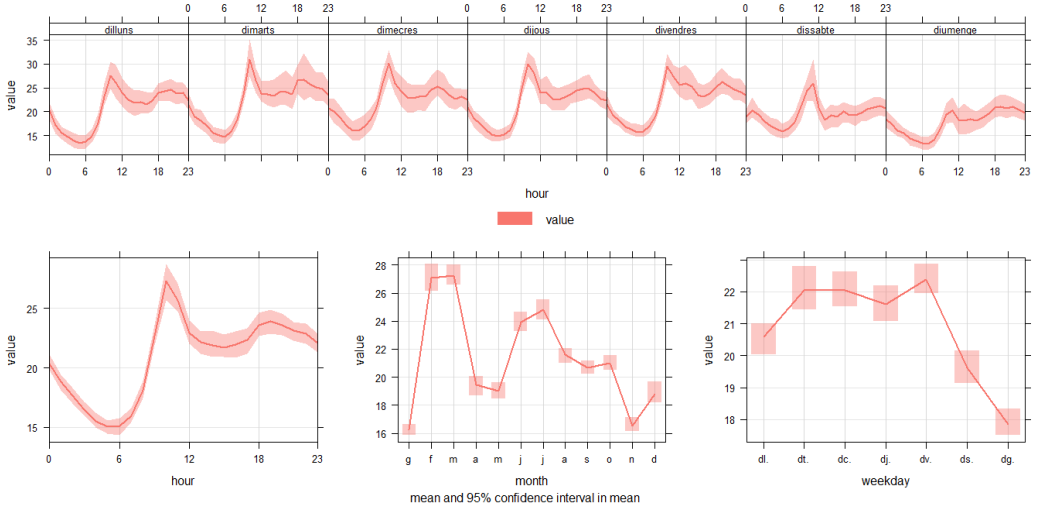


Fig. 3.1.: "Time Variation" de PM10 a Martorell. Font pròpia

En la figura 3.2, mostrem "Time Variation" de NO2:

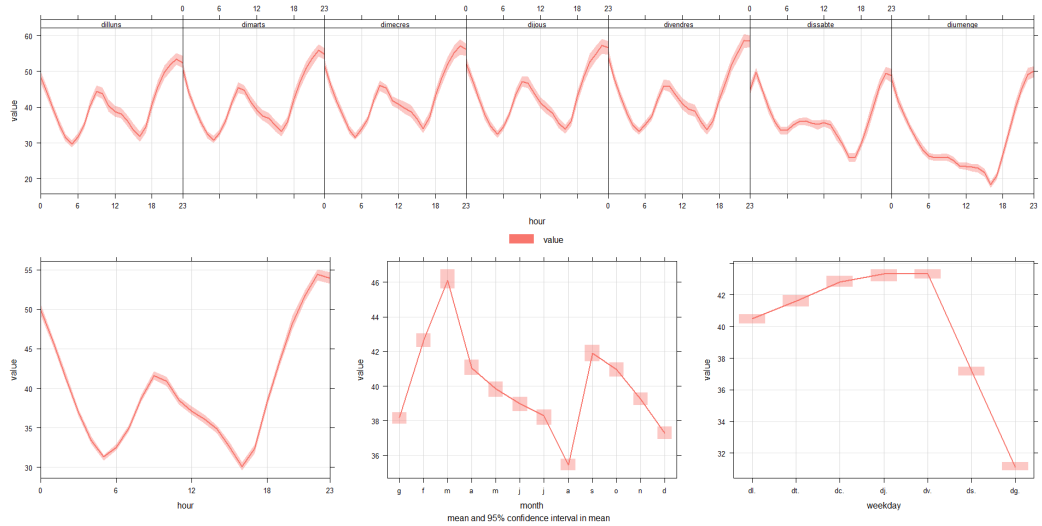


Fig. 3.2.: "Time Variation" de NO2 a Martorell. Font pròpia

En la figura 3.3, mostrem "Time Variation" de O3:

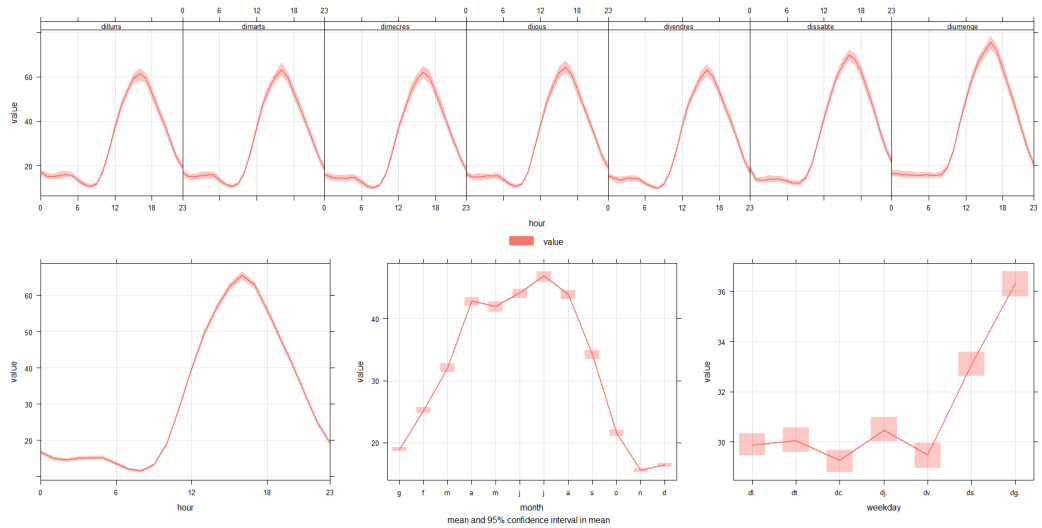
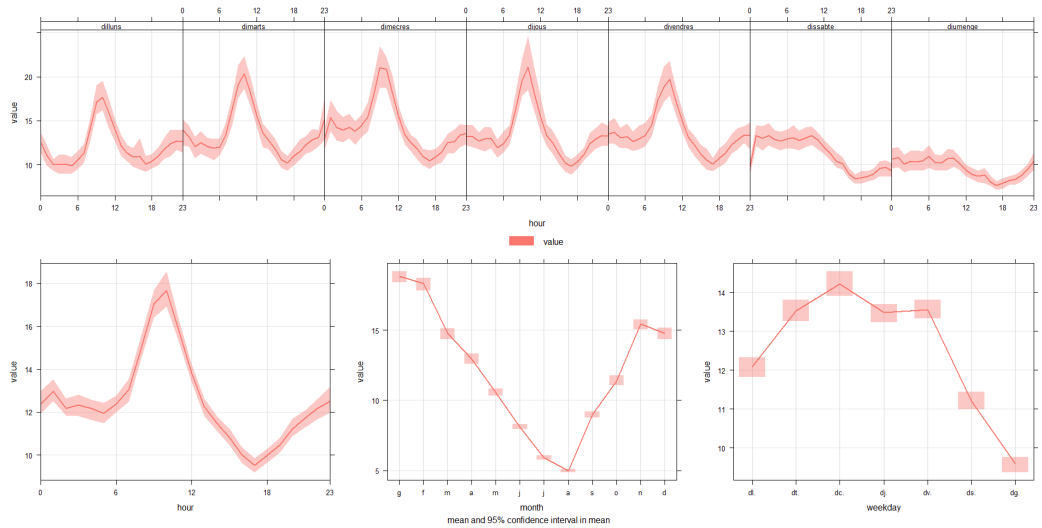


Fig. 3.3.: "Time Variation" de O3 a Martorell. Font pròpia

En la figura 3.4, mostrem "Time Variation" de SO2:



o

Fig. 3.4.: "Time Variation" de SO2 a Martorell. Font pròpia

Trend Level En aquesta gràfica es mostra l'evolució del contaminant PM10 durant un marge de temps en la ciutat de Martorell. Podem apreciar l'absència de dades en diversos mesos al llarg dels anys, el que dificulta fer un anàlisi correcte de la situació real de la ciutat.(3.5). El gràfic el creem a partir de la següent instrucció, després d'haver fet els anteriors passos de la pràctica (3.2):

List. 3.2: Instrucció per crear la gràfica "Trend Level"

```
trendLevel(martorell5PM10, pollutant = "value",
main="PM10 evolution in Martorell")
```

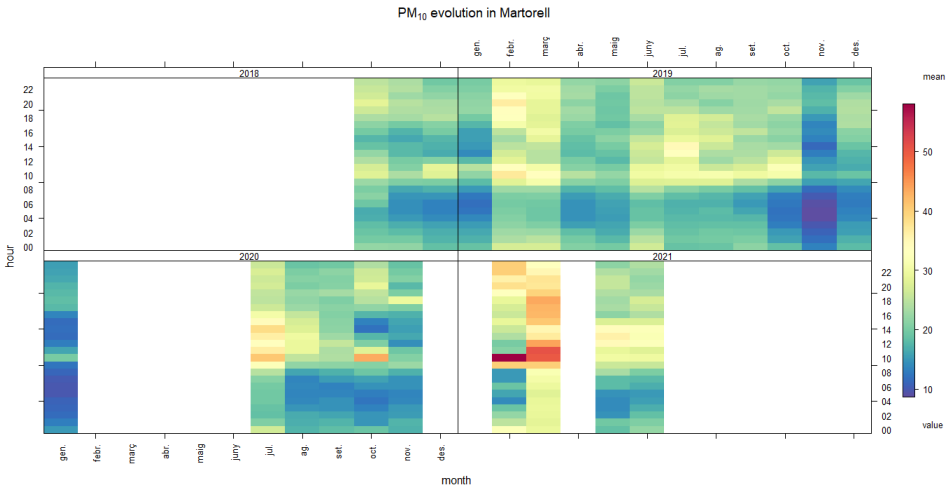


Fig. 3.5.: "Trend Level" de PM10 a Martorell. Font pròpia

En la figura 3.6, mostrem "Trend Level" de NO2:

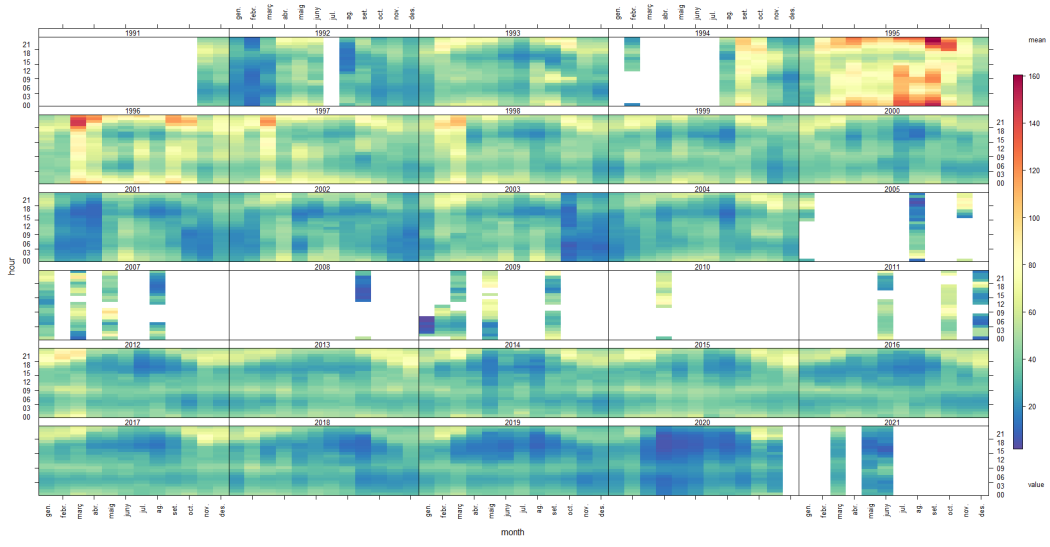


Fig. 3.6.: "Trend Level" de NO2 a Martorell. Font pròpia

En la figura 3.7, mostrem "Trend Level" de O3:

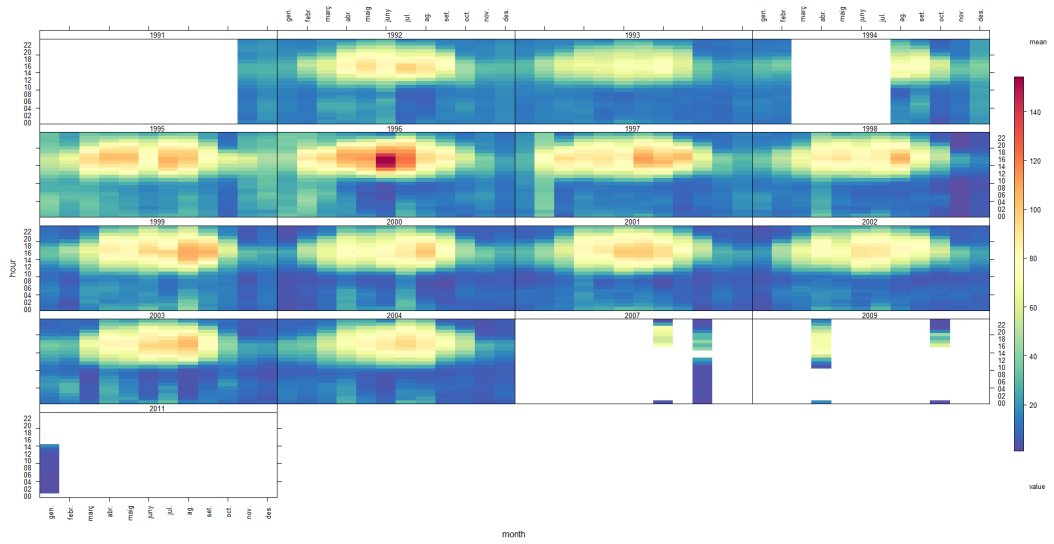


Fig. 3.7.: "Trend Level" de O3 a Martorell. Font pròpia

En la figura 3.8, mostrem "Trend Level" de SO2:

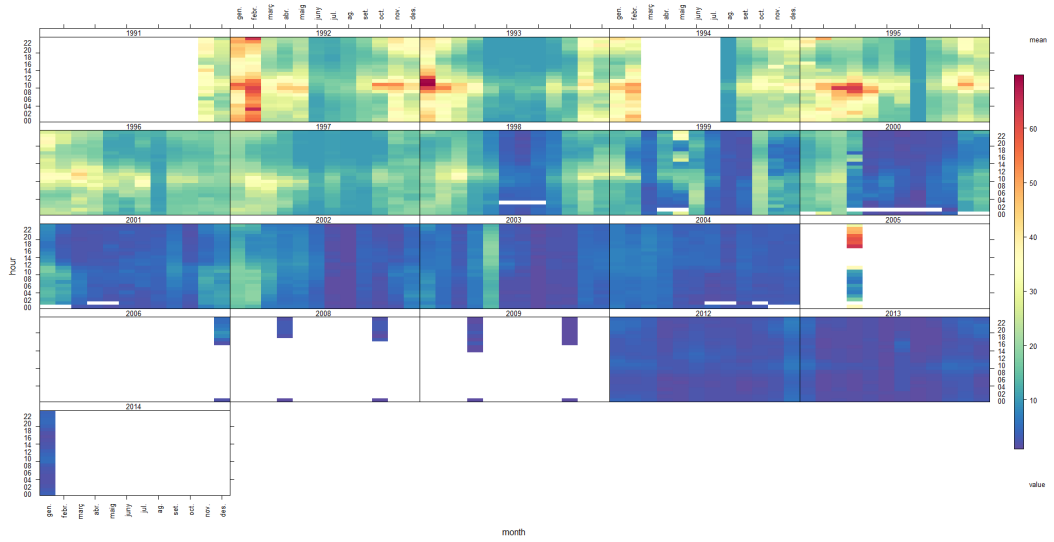


Fig. 3.8.: "Trend Level" de SO2 a Martorell. Font pròpia

Calendar Plot Per altra banda, també tenim aquesta gràfica representada com un calendari on es pot observar l'evolució del mateix contaminat, PM10, durant els mesos de l'any 2020 (cap contaminant presenta suficients dades al 2021 com per fer un "Calendar Plot"), al qual li falten, fins i tot, mesos sencers de dades.(3.9). El gràfic el creem a partir de la següent instrucció, després d'haver fet els anteriors passos de la pràctica (3.3):

List. 3.3: Instrucció per crear la gràfica "Calendar Plot"

```
daily<-timeAverage(martorell5PM10,avg.time = "day")
View(daily)
calendarPlot(martorell5PM10, pollutant="value", year="2020")
```

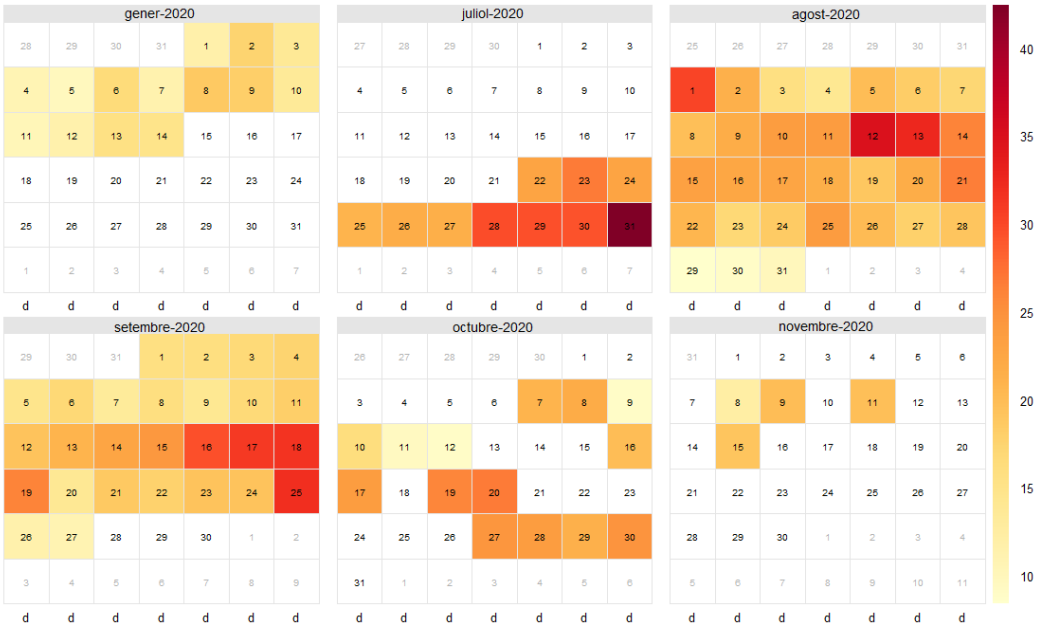


Fig. 3.9.: "Calendar Plot" de PM10 a Martorell. Font pròpia

En la figura 3.10, mostrem "Calendar Plot" de NO2:

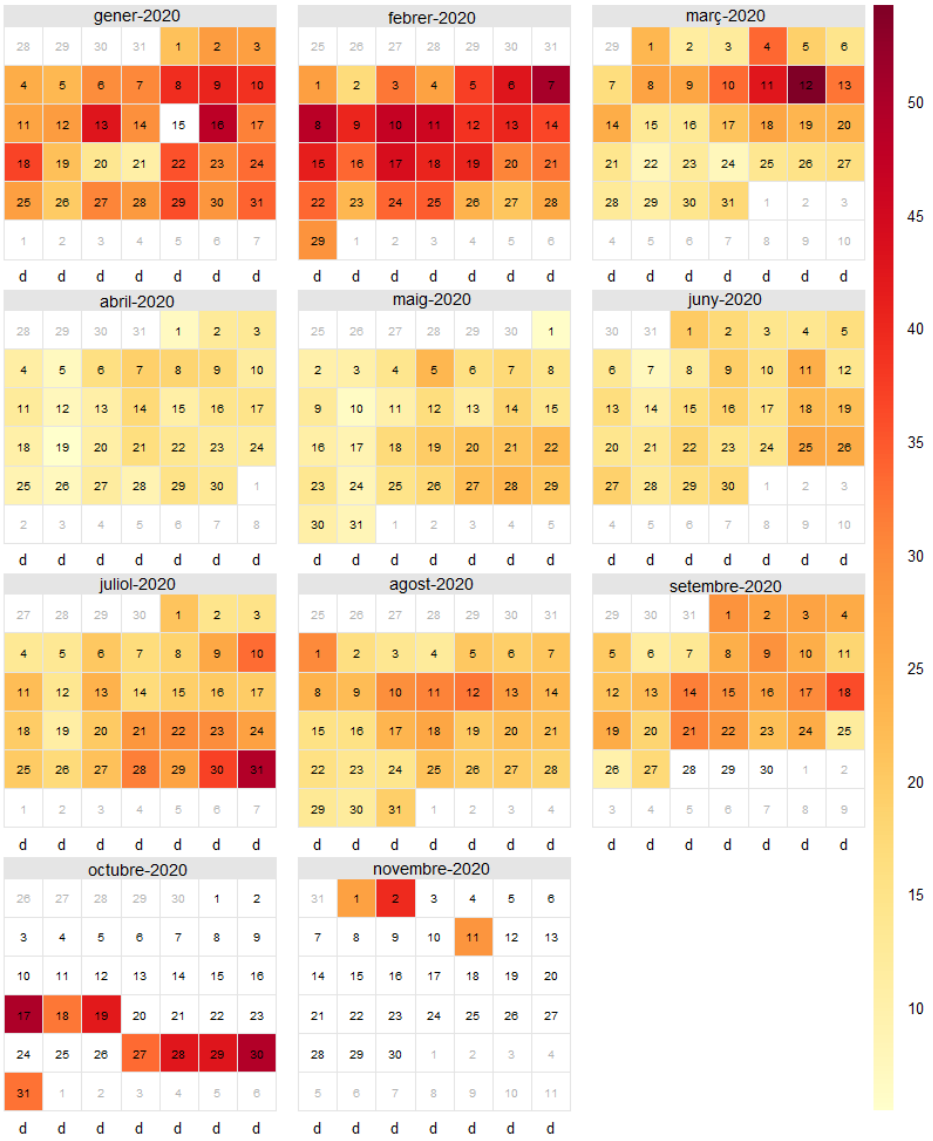


Fig. 3.10.: "Calendar Plot" de NO2 a Martorell. Font pròpia

Summary plot També tenim aquesta gràfica que mostra un resum on es pot observar l'evolució dels diferents contaminats ("NOX","NO2","CO","SO2","H2S","NO","PM10","O3", "HCT","HCNM"), durant els anys, des de 1991 fins al 2020. Es pot observar l'ambigüitat de les dades, d'on resulta costós extreure possibles comentaris o conclusions, degut a l'absència de dades.(3.11). El gràfic el creem a partir de la següent instrucció, després d'haver fet els anteriors passos de la pràctica (3.4):

List. 3.4: Instrucció per crear la gràfica "Summary Plot"

```
summaryPlot(yearly)
```

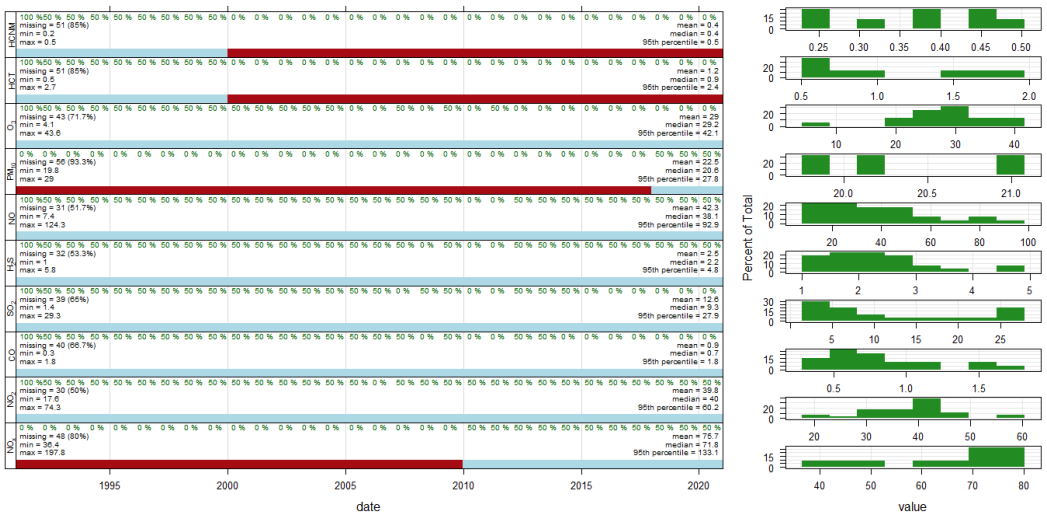


Fig. 3.11.: "Summary Plot" de PM10 a Martorell. Font pròpia

Time Plot Presentem dos gràfics més sobre la evolució dels diferents contaminants a Martorell des de 1991 fins a 2021, on es poden observar buits de dades d'inclús anys (3.12)(3.13). El primer gràfic el creem a partir de la següent instrucció, després d'haver fet els anteriors passos de la pràctica (3.5):

List. 3.5: Instrucció per crear la gràfica "Time Plot" (1a versió)

```
timePlot(selectByDate(yearly), pollutant = c("NOX","NO2","CO","SO2",
"H2S","NO","PM10","O3", "HCT","HCNM"),y.relation = "free", main="Yearly
mean of air pollutants in Martorell")
```

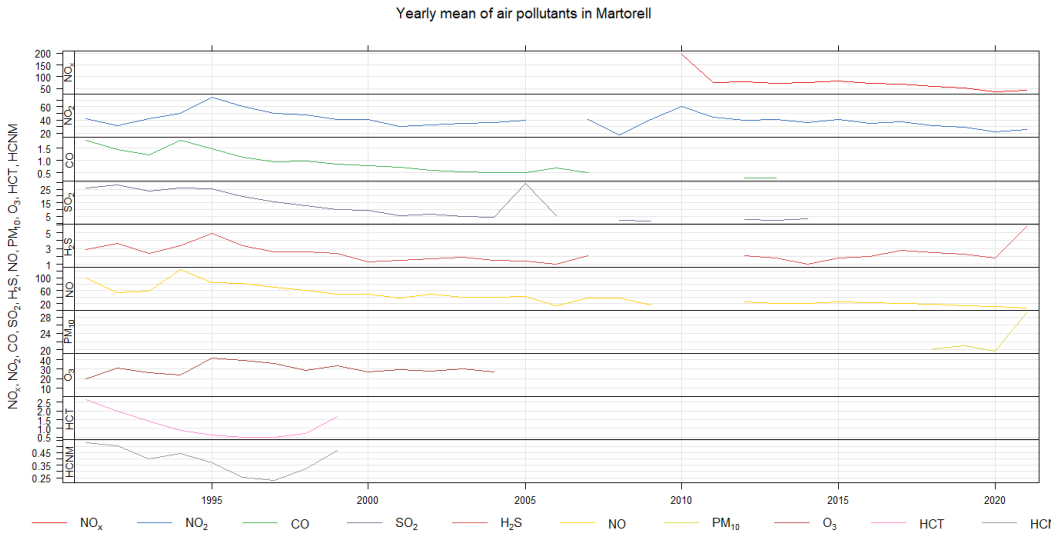


Fig. 3.12.: "Time Plot" de contaminants a Martorell de de 1991 a 2021 (1a versió). Font pròpia

El segon gràfic el creem a partir de la següent instrucció, després d'haver fet els anteriors passos de la pràctica (3.6):

List. 3.6: Instrucció per crear la gràfica "Time Plot" (2a versió)

```
timePlot(selectByDate(martorell6), pollutant = c("NOX","NO2","CO",
"SO2","H2S","NO","PM10","O3", "HCT","HCNM"), y.relation = "free",
main="Yearly mean of air pollutants in Martorell")
```

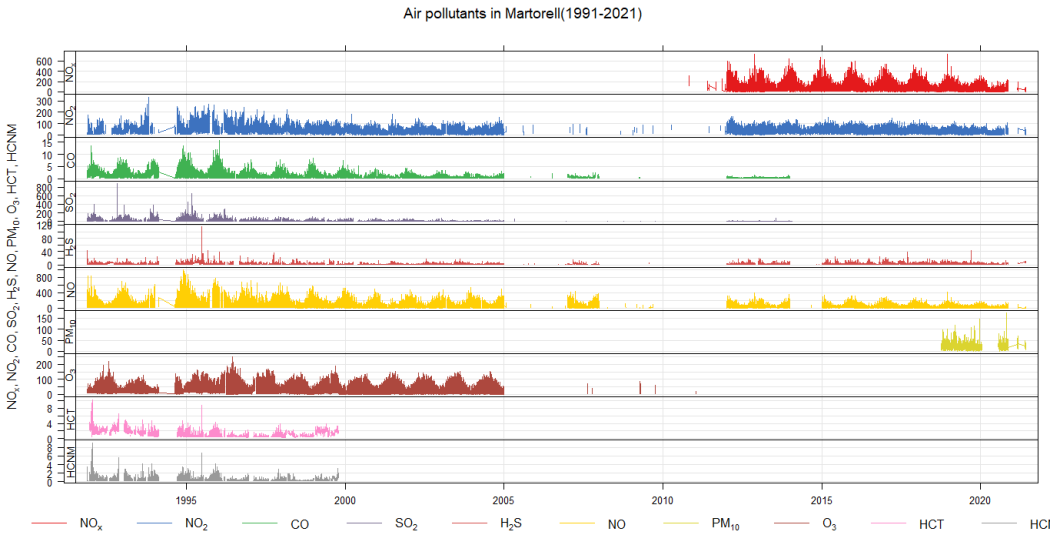


Fig. 3.13.: "Time Plot" de contaminants a Martorell de de 1991 a 2021 (2a versió). Font pròpia

Time variation (1991-2020) També tenim aquesta gràfica que mostra un resum on es pot observar l'evolució dels diferents contaminats ("NOX","NO2","CO","SO2", "H2S","NO","PM10","O3", "HCT","HCNM"), durant els anys, des de 1991 fins al 2020 (3.14). El gràfic el creem a partir de la següent instrucció, després d'haver fet els anteriors passos de la pràctica (3.7):

List. 3.7: Instrucció per crear la gràfica "Summary Plot"

```
timeVariation(city6, pollutant=c("NOX","NO2","CO","SO2","H2S","NO"
,"PM10","O3", "HCT","HCNM"),
main="Air pollution in Martorell (1991-2021)")
```

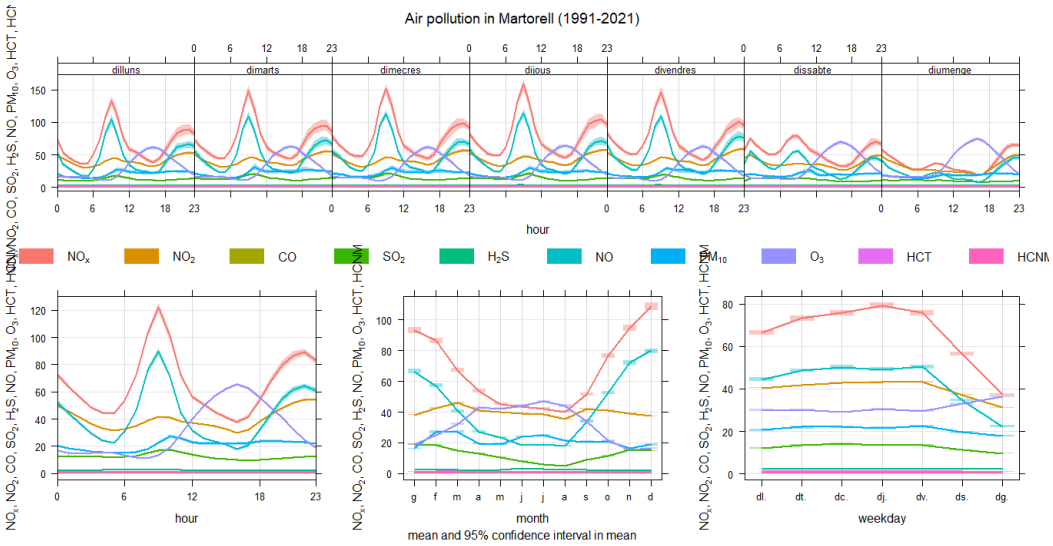


Fig. 3.14.: "Air pollution" a Martorell des de 1991 a 2020. Font pròpia

Episode Les normes de qualitat de l'aire de la Unió Europea indiquen diferents nivells límit de contaminació, mostrats en la taula de l'apèndix (A.10).

Podem comprovar, per exemple, el nombre de superacions de les mitges d'1h de diòxid de nitrogen amb aquest codi:

```
library(openair)

episode<-selectRunning(martorell6, pollutant="NO2",threshold=200,
run.len=1)

nrow(episode)
```

En aquest cas, la resposta és:

[1] 82

El programa ens diu que el nivell de 200 $\mu g/m^3$ s'ha superat a la mitjana d'1h un total de 82 vegades. Això pot ser utilitzat per tots els diferents contaminants, i estudiar les vegades que aquests superen els límits establerts.

Si fem aquest procés amb tots els contaminants que ens interessen, obtenim que els contaminants han superat els seus límits les següents vegades:

Com hem dit abans, el nivell de 200 $\mu g/m^3$ de diòxid de nitrogen (NO2) s'ha superat a la mitjana d'1h un total de 82 vegades. El nivell de 50 $\mu g/m^3$ de PM10 s'ha superat a la mitjana de 24h un total de 36 vegades. El nivell de 120 $\mu g/m^3$ d'ozó (O3) s'ha superat a la mitjana de 8h un total de 95 vegades.

Pollution Rose Amb aquesta gràfica podem observar la direcció del vent i la contaminació. Així podem saber d'on provenen grans quantitats de contaminació. En aquest cas, per exemple, podem deduir que grans quantitats de PM10 provenen de Barcelona, donada la direcció del vent i la localització de Martorell respecte Barcelona (al nord-oest) (3.15). El gràfic el creem a partir de la següent instrucció, després d'haver fet els anteriors passos de la pràctica (3.8):

List. 3.8: Instrucció per crear la gràfica "Summary Plot"

```
1 pollutionRose(martorellall, pollutant = "PM10")
```

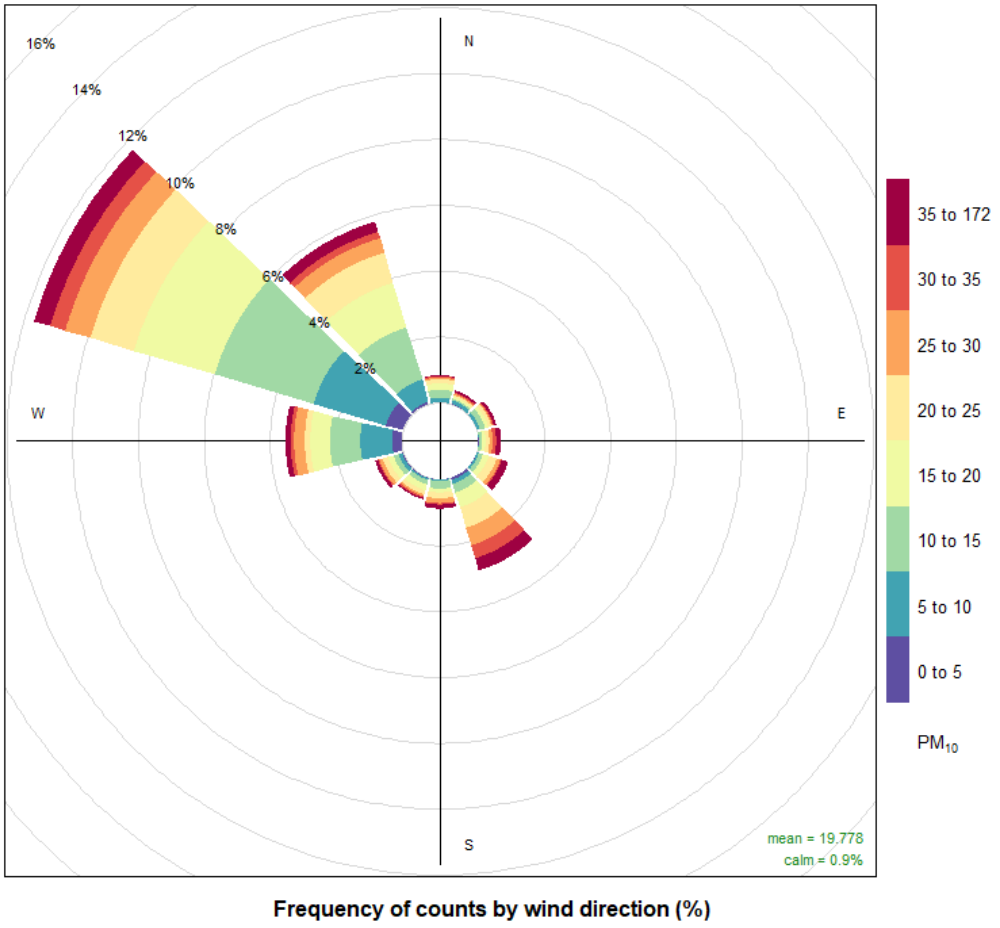


Fig. 3.15.: "Pollution Rose" del contaminant PM10 a Martorell. Font pròpia

Amb tots aquests resultats i gràfics que hem obtingut, podem veure si hi ha alguns valors que superen el límit legal de contaminació i amb la gràfica del vent (3.15) podem veure d'on ve la contaminació.

3.2 Dades recollides per la Raspberry Pi (28/12/2021 - 25/01/2022)

Abans de mostrar els nostres resultats, és a dir, la representació gràfica (i altres) de les dades recollides per la Raspberry Pi amb el sensor Enviro+, creiem convenient donar una mica de context sobre aquestes dades: una explicació breu i els seus mecanismes de detecció (explicat breument també a l'apartat 2.1.2). A continuació, parlem dels contaminants recollits: oxidant5s, reductors, amoníac (NH3), PM1, PM2.5 i PM10. Comentar que les variables meteorològiques no les esmentem, ja que, degut a una incompatibilitat amb el mòdul *requests*, el seu valor és constant i no són vàlides per a una possible interpretació posterior.

3.2.1 Sensor MiCS-6814

Oxidants

Un oxidant és un compost químic que elimina un o més electrons d'un altre reactiu en una reacció química [11]. En aquest context, qualsevol agent oxidant en una reacció redox[1] es pot considerar un oxidant. Aquí, l'oxidant és el receptor d'electrons, mentre que l'agent reductor és el donant d'electrons. Alguns oxidants transfereixen àtoms electronegatius a un substrat. Normalment, l'àtom electronegatiu és l'oxigen, però pot ser un altre element o ió electronegatiu. Com que cada grup de gasos podria ser una barreja de gasos diferents, no és possible distingir cap gas específicament ni quantificar-ne els nivells amb precisió, de manera que la millor manera d'interpretar les dades és prendre lectures fins que s'estabilitzi una línia de base, i després es busquin canvis en relació amb aquesta línia de base. Aquest procediment ens dóna una idea aproximada de si la qualitat de l'aire està augmentant o disminuint. L'oxidant que predomina alhora de fer mesures amb el Sensor MiCS-6814 és el diòxid de nitrogen (NO2) [2], un gas de color marronós amb una olor forta. És un dels elements del boirum fotoquímic i precursor de l'àcid nítric, que és un dels constituents de la pluja àcida i de partícules secundàries. Els NOX són els NO2 més altres compostos que contenen nitrogen i oxigen, com l'NO. La principal font antropogènica és la combustió, tant de tipus mòbil (trànsit terrestre, aeri i marítim) com de tipus estacionari (industrials). La quantitat de NOX emesa depèn de les condicions de la combustió i de la quantitat de combustible cremat [23]. En la figura 3.16 s'observa la variació dels diferents oxidants i la concentració d'aquests: veiem

[1] reaccions químiques en què ocorre un intercanvi d'electrons entre els àtoms o molècules involucrats [12]

com les dades recollides pel sensor augmentaran amb l'augment dels nivells de diòxid de nitrogen.

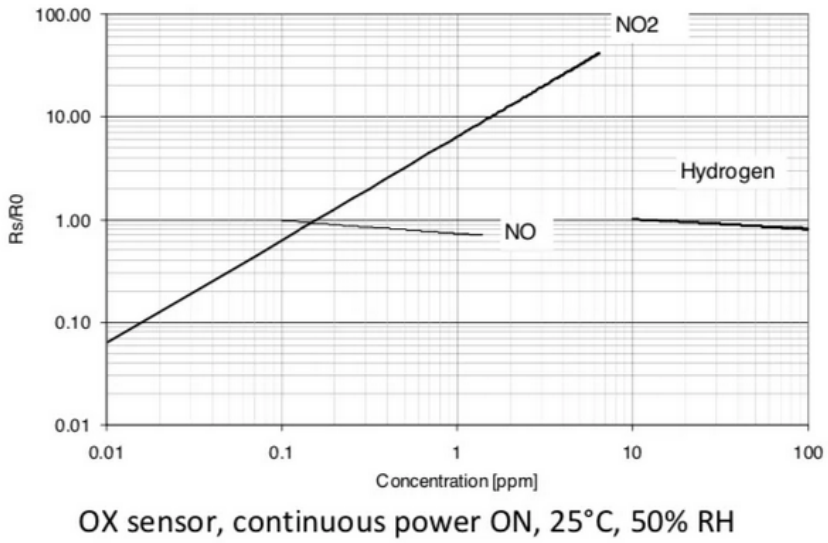


Fig. 3.16.: Gràfic sobre la variació de les variables d'oxidants llegides pel sensor (en 25°C de temperatura i 50% d'humitat relativa). Font: [13]

Reductors

El monòxid de carboni, que és l'element principal de mesurament del grup de reductors en aquest sensor, és un gas incolor, sense olor i sense gust. És el gas emès més abundant, després del CO2 i del vapor d'aigua. Acaba oxidant-se a CO2, per la qual cosa afecta el canvi climàtic i, a més, té una certa participació en la química de l'ozó. S'emet a l'atmosfera per dues vies: l'emissió directa i la formació química provinent d'altres contaminants. L'emissió directa es genera en combustions incompletes (gas, carbó, gasoil o biomassa), principalment en fonts com el trànsit i les estufes per a ús domèstic. Els nivells de CO han experimentat una davallada molt important en les darreres dècades, gràcies a l'ús generalitzat de convertidors catalítics a les emissions dels vehicles. Les concentracions més elevades estan en àrees urbanes amb trànsit intens, però sempre amb nivells molt inferiors al valor límit establert per Europa [23].

En la figura 3.17 veiem que les lectures de les dades recollides referents als reductors disminuiran amb l'augment de les concentracions dels gasos que detecti.

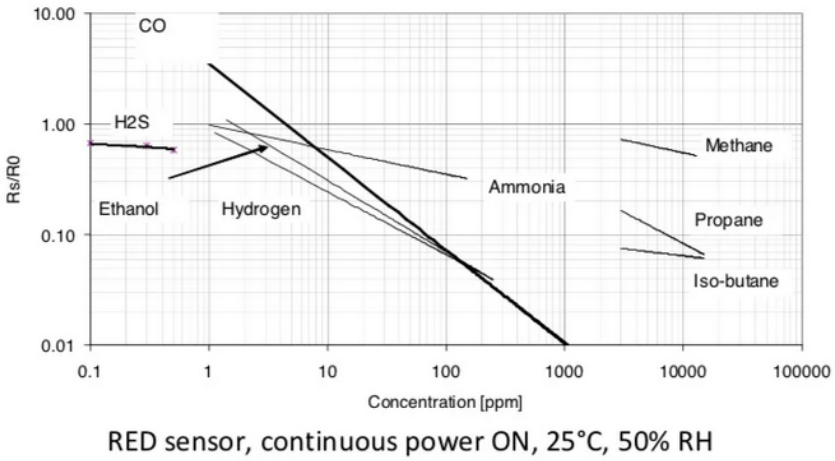


Fig. 3.17.: Gràfic sobre la variació de les variables de reductors llegides pel sensor (en 25°C de temperatura i 50% d'humitat relativa). Font: [13]

Amoníac (NH3)

L'amoníac (NH3) és un gas alcalí altament reactiu i soluble. S'origina tant de fonts naturals com d'antropogèniques, sent la principal font l'agricultura. L'excés de nitrogen pot provocar efectes d'eutrofització[2] i acidificació en ecosistemes semi-naturals, que al seu torn poden provocar canvis en la composició de les espècies i altres efectes nocius. L'amoníac prové de la descomposició i volatilització[3] de la urea[4]. Les emissions i la deposició varien segons l'espai, amb "punts calents d'emissions" associats a pràctiques agrícoles intensives d'alta densitat. Altres emissions d'amoníac relacionades amb l'agricultura inclouen la crema de biomassa o la fabricació de fertilitzants. L'amoníac també s'emet a partir d'una sèrie de fonts no agrícoles, com ara convertidors catalítics en cotxes de gasolina, abocadors, aigües residuals, compostatge de materials orgànics, combustió, indústria i mamífers i ocells salvatges [14].

En la figura 3.18 veiem com la variació de les lectures d'NH3 disminuiran amb l'augment de les concentracions dels gasos que detectin.

[2] fenomen causat per l'acumulació de nutrients en un ecosistema com ara un llac o una bassa
[3] procés de pèrdua de nitrogen
[4] compost químic cristal.lí i incolor; de fórmula CO(NH2)2. Es troba en major proporció a l'orina, a la suor i en la matèria fecal

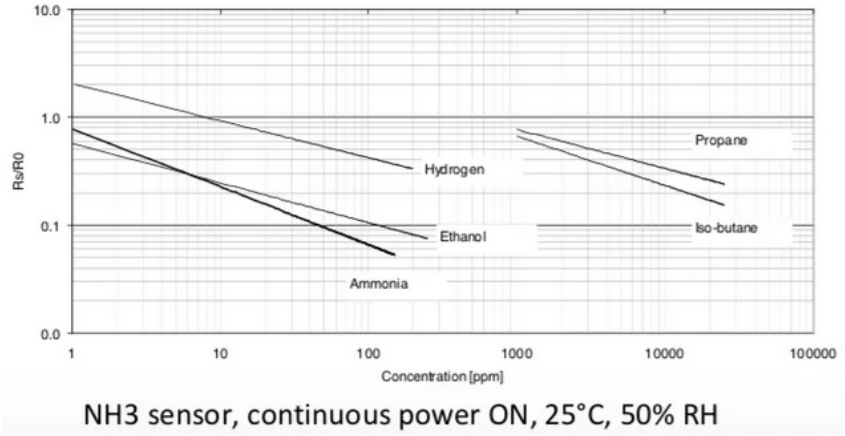


Fig. 3.18.: Gràfic sobre la variació de les variables de reductors llegides pel sensor (en 25°C de temperatura i 50% d'humitat relativa). Font: [13]

3.2.2 Sensor PMS5003

PM (PM1, PM2.5 i PM10)

En l'apartat 2.1.2, de la secció de *Materials i mètodes*, ja hem descrit el funcionament del sensor PMS5003 (com detecta les partícules en suspensió).

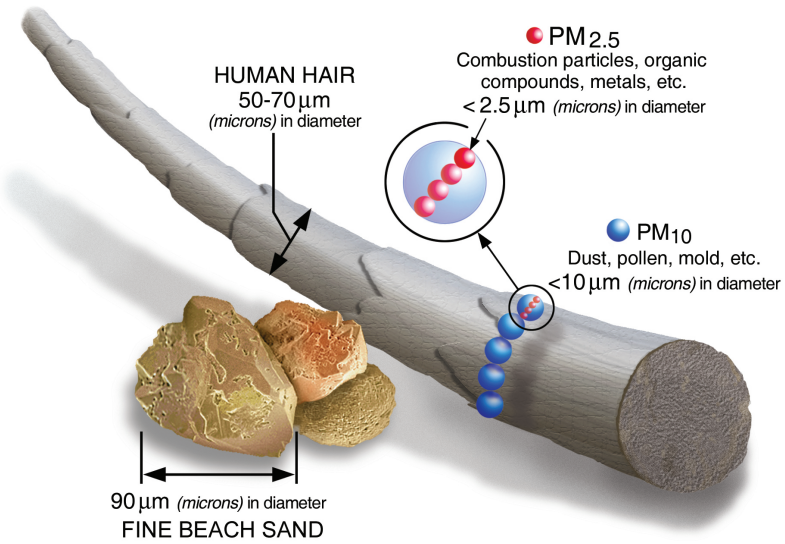


Fig. 3.19.: Representació de la mida de les partícules de PM10 i PM2.5. Font: [15]

A diferència dels gasos, que estan formats per molècules separades d'un sol compost, aquest material és una barreja complexa de partícules sòlides i líquides formada per un conjunt de molècules de la mateixa substància o de diferents. Es classifiquen segons el seu diàmetre aerodinàmic en PM10 (diàmetres inferiors a 10 micres),

PM2,5 (diàmetres inferiors a 2,5 micres) i PM1 (diàmetres inferiors a 1 micra). Segons el seu origen, les partícules poden ser primàries (emeses directament) o secundàries (formades a l'atmosfera a partir d'altres contaminants, com a resultat de reaccions complexes de productes químics com el diòxid de sofre i els òxids de nitrogen, que són contaminants emesos per les centrals elèctriques, les indústries i els automòbils [15]). Tant les primàries com les secundàries poden tenir una part natural i una altra antropogènica. En funció de la font d'emissió tindran una composició química i una mida diferent. [23].

3.3 Representació de dades pròpies amb Integromat (28/12/2021)

En aquest apartat mostrem els resultats obtinguts utilitzant *Integromat* i *GoogleSheets* durant una setmana aproximadament (des de "2021-12-28 16:17:00" a "2022-01-04 04:29:34") utilitzant el prototip d'estació de l'apartat 3.8. Els passos a seguir per fer-ho es troben a l'anterior secció (2.2.2). El codi que enllaça la Raspberry Pi amb l'*Integromat* (i aquest el connecta al *GoogleSheets*) es troba a l'annex d'aquest mateix document (A.3).

A continuació, mostrem la representació de les dades obtingudes per la Raspberry Pi, que es fa en temps real. És d'interès mencionar que no hem acabat representant cap dada meteorològica (temperatura, humitat i pressió), degut a que, per una incompatibilitat amb el mòdul *requests*, el seu valor és constant i no són vàlids per a una possible interpretació posterior. També hem patit diversos errors durant l'execució del codi. El buit més notable és el que va des de " 2021-12-30 21:20:40" a "2022-01-02 17:52:14".

ENVIRO+ TR : SHEET2

DIA I HORA	TEMPERATURA (ºC)	PRESSURE (hPa)	OXIDANTS (kO)	REDUCTORS (kO)	NH3 (kO)	PM1 (ug/m3)	PM2.5 (ug/m3)	PM10 (ug/m3)	LLUM (Lux)	HUMITAT (%)
2021-12-28 16:17:00.501447	21,7730196	676,2890404	67,93068298	231,8504673	377,8028169	0	0	0	4,11188	0
2021-12-28 16:19:14.964639	21,7730196	676,2890404	81,66666667	244,4878049	414,2290076	0	0	0	38,45735	0
2021-12-28 16:55:48.817993	21,7730196	676,2890404	15,87864644	271,6595745	393,6350365	0	0	0	30,58845	0
2021-12-28 17:26:34.536786	21,7730196	676,2890404	17,59617682	271,6595745	377,8028169	0	0	0	18,06505	0
2021-12-28 17:37:19.172189	21,7730196	676,2890404	18,03846154	280,6120219	374,7692308	0	0	0	14,85065	0
2021-12-28 17:52:22.342046	21,7730196	676,2890404	18,57627119	282,4615385	368,8275862	0	0	0	1.1900	0
2021-12-28 17:54:44.153210	21,7730196	676,2890404	18,66666667	284,3314917	368,8275862	0	0	0	1.1900	0
2021-12-28 18:55:06.656329	21,7730196	676,2890404	42,90393701	676,9477912	262,226087	1	1	1	4,18905	0
2021-12-28 19:10:10.802784	21,7730196	676,2890404	21,28983689	354,6666667	660,2790698	2	2	2	3,14756	0
2021-12-28 19:25:13.940868	21,7730196	676,2890404	24	354,6666667	660,2790698	3	3	3	0	0
2021-12-28 19:40:17.098266	21,7730196	676,2890404	24,73394495	344	644	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-28 19:55:20.280175	21,7730196	676,2890404	25,15942029	338,8717949	628,4444444	2	2	2	0	60,49453258
2021-12-28 20:10:23.592139	21,7730196	676,2890404	26,13333333	349,2631579	660,2790698	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-28 20:25:26.762570	21,7730196	676,2890404	26,24299065	341,4193548	636,1348315	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-28 20:40:29.908415	21,7730196	676,2890404	26,57372654	338,8717949	628,4444444	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-28 20:55:33.062691	21,7730196	676,2890404	27,35588633	346,6143791	644	1	1	1	0	60,49453258
2021-12-28 21:10:36.162180	21,7730196	676,2890404	27,69565217	346,6143791	644	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-28 21:25:39.302332	21,7730196	676,2890404	27,92370572	344	636,1348315	1	1	1	0	60,49453258
2021-12-28 21:40:42.512067	21,7730196	676,2890404	27,80952381	346,6143791	628,4444444	1	2	2	0	60,49453258
2021-12-28 21:55:45.617165	21,7730196	676,2890404	28,96551724	357,4228188	668,7058824	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-28 22:10:48.781005	21,7730196	676,2890404	28,61538462	349,2631579	652,045977	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-28 22:25:51.941042	21,7730196	676,2890404	29,91352859	357,4228188	686,1686747	1	1	1	0	60,49453258
2021-12-28 22:40:55.116469	21,7730196	676,2890404	29,67454798	354,6666667	668,7058824	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-28 22:55:58.229547	21,7730196	676,2890404	31,00564972	368,8275862	714	1	1	1	0	60,49453258
2021-12-28 23:11:01.288016	21,7730196	676,2890404	31,25212465	365,9178082	714	1	1	1	0	60,49453258
2021-12-28 23:26:04.455889	21,7730196	676,2890404	30,2745098	344	668,7058824	2	2	2	0	60,49453258
2021-12-28 23:41:07.511998	21,7730196	676,2890404	30,63853727	346,6143791	677,3333333	1	1	1	0	60,49453258
2021-12-28 23:56:10.647232	21,7730196	676,2890404	30,63853727	346,6143791	686,1686747	1	1	6	0	60,49453258
2021-12-29 00:11:13.943186	21,7730196	676,2890404	31,12871287	357,4228188	704,4938272	2	2	8	0	60,49453258
2021-12-29 00:26:17.021004	21,7730196	676,2890404	31,87446505	351,9470199	714	1	1	1	0	60,49453258
2021-12-29 00:41:20.198208	21,7730196	676,2890404	30,88293371	346,6143791	677,3333333	1	1	1	0	60,49453258
2021-12-29 00:56:23.615602	21,7730196	676,2890404	31,62446657	351,9470199	695,2195122	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-29 01:11:26.800733	21,7730196	676,2890404	31,00564972	344	686,1686747	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-29 01:26:29.869853	21,7730196	676,2890404	32,12589413	354,6666667	723,7468354	1	3	3	0	60,49453258
2021-12-29 01:41:32.994474	21,7730196	676,2890404	34,05847953	368,8275862	765,3333333	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-29 01:56:36.173392	21,7730196	676,2890404	33,79591837	363,047619	754,5263158	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-29 02:11:39.321706	21,7730196	676,2890404	33,79591837	363,047619	754,5263158	0	1	1	0	60,49453258
2021-12-29 02:26:42.457872	21,7730196	676,2890404	32,63309353	349,2631579	714	0	0	0	0	60,49453258
2021-12-29 02:41:45.622576	21,7730196	676,2890404	33,01734104	351,9470199	733,7435897	0	0	0	0	60,49453258

Fig. 3.20.: Captura de la taula feta amb *Integromat* i *GoogleSheets*. Font pròpia

En la figura 3.20 mostrem una captura de la recollida de dades. La taula completa es troba en la web de l'apartat 3.6.

Seguidament, exposem els diferents gràfics extrets de l'anterior taula (3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.71, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30).

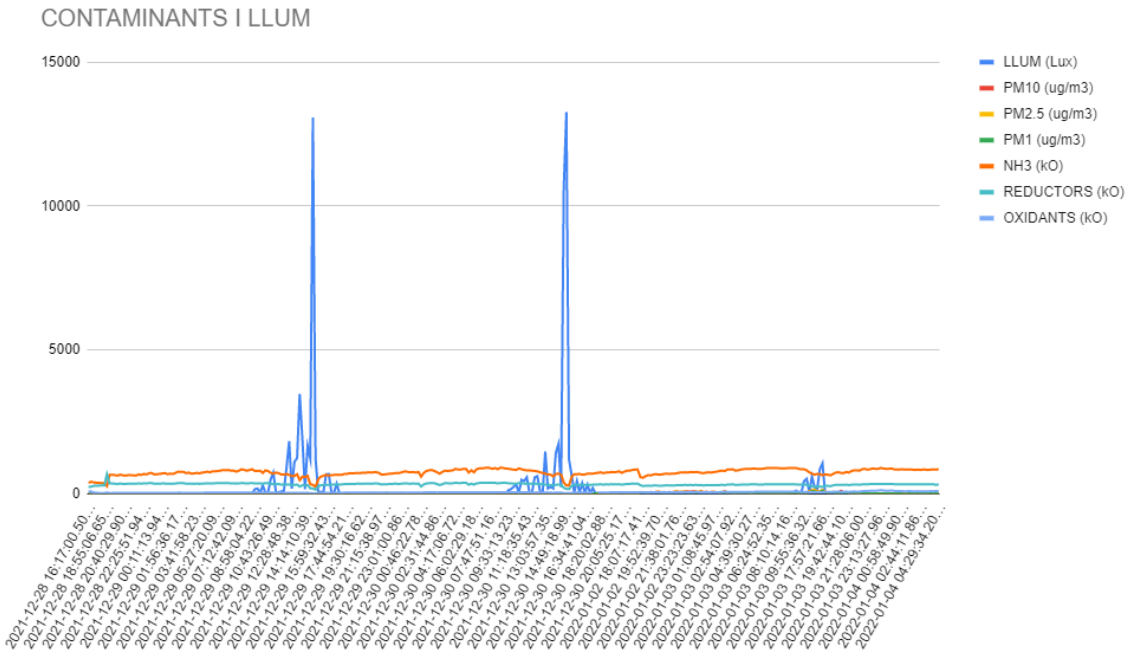


Fig. 3.21.: Gràfic dels diferents contaminants i la llum. Font pròpia

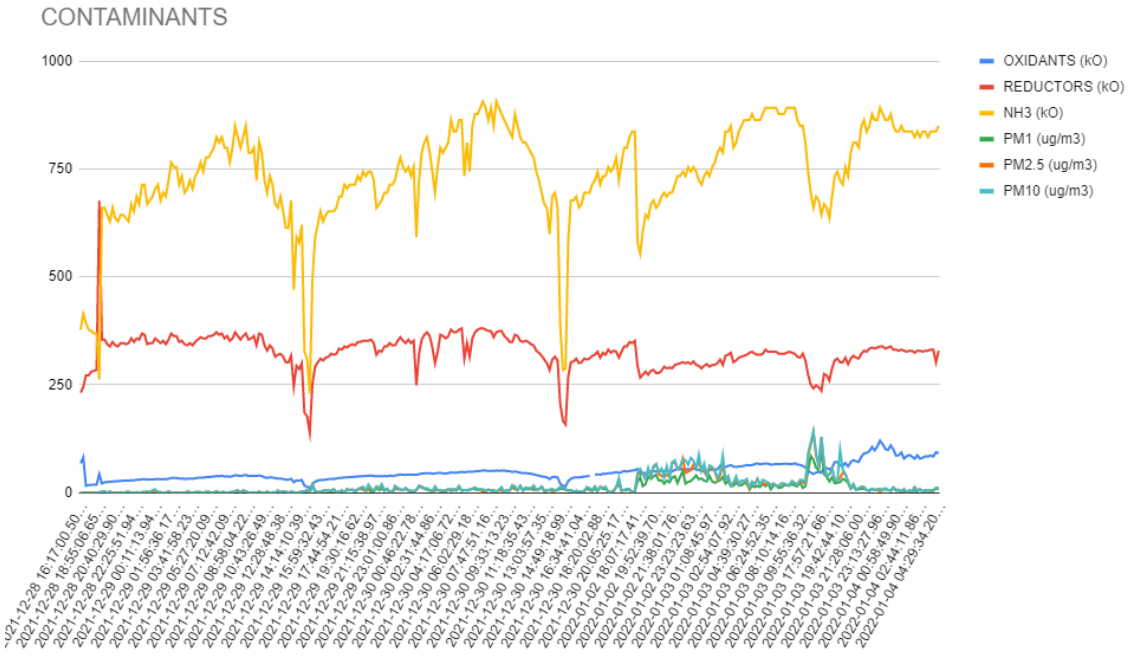


Fig. 3.22.: Gràfic dels diferents contaminants. Font pròpia

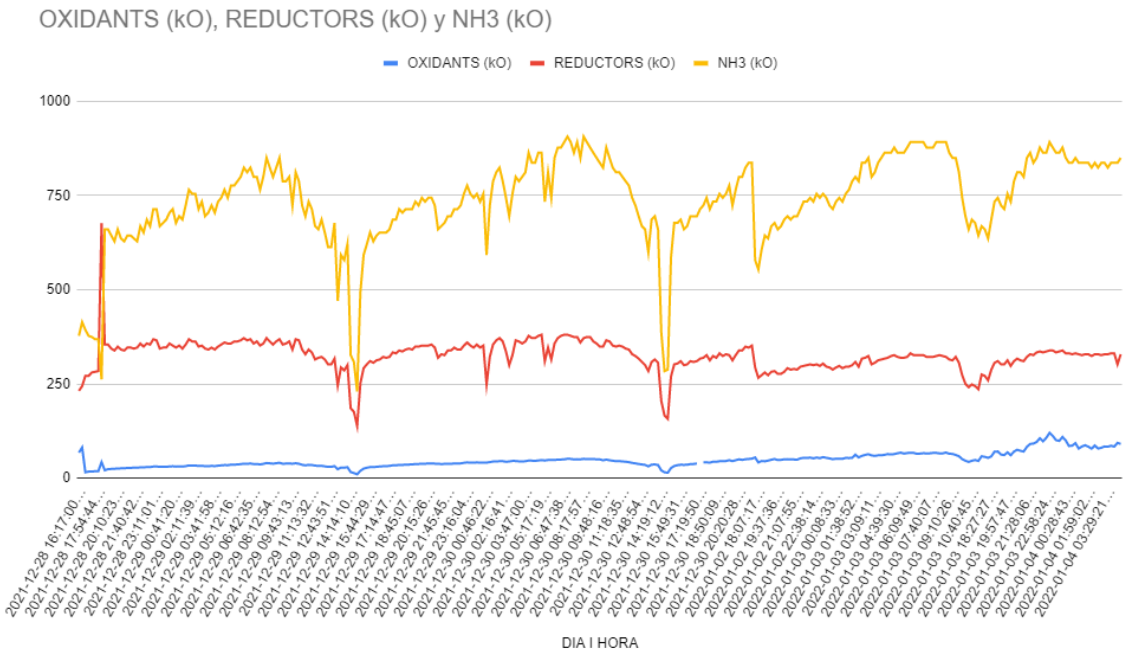


Fig. 3.23.: Gràfic d'oxidants, reductors i amoníac (sensor MICS6814). Font pròpia

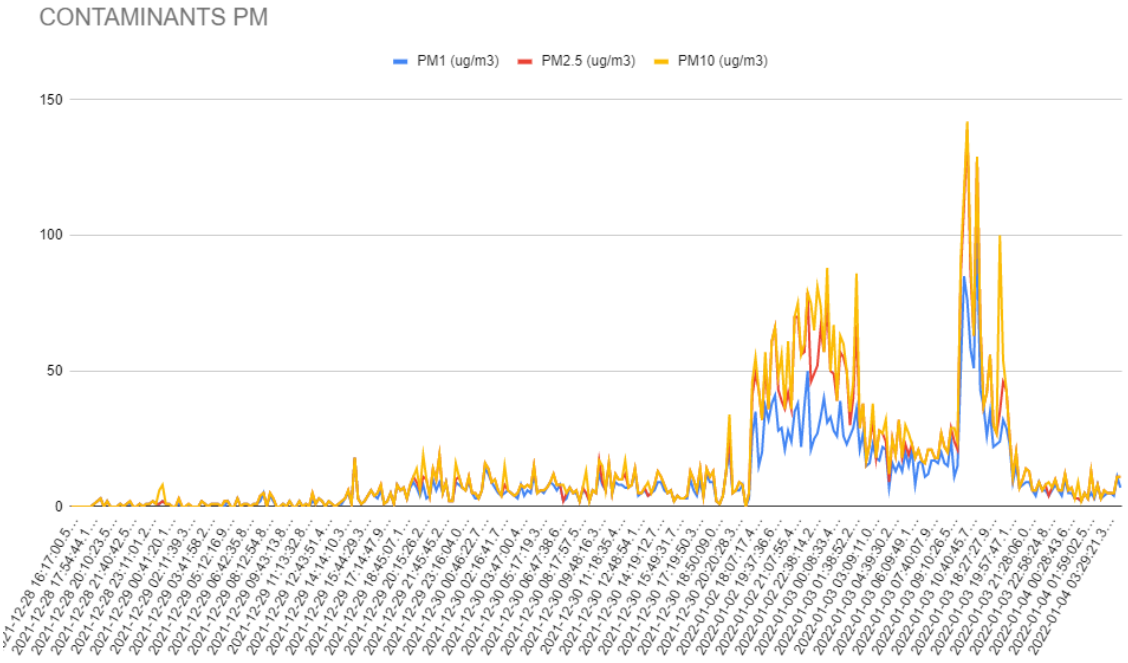


Fig. 3.24.: Gràfic dels contaminants PM. Font pròpia

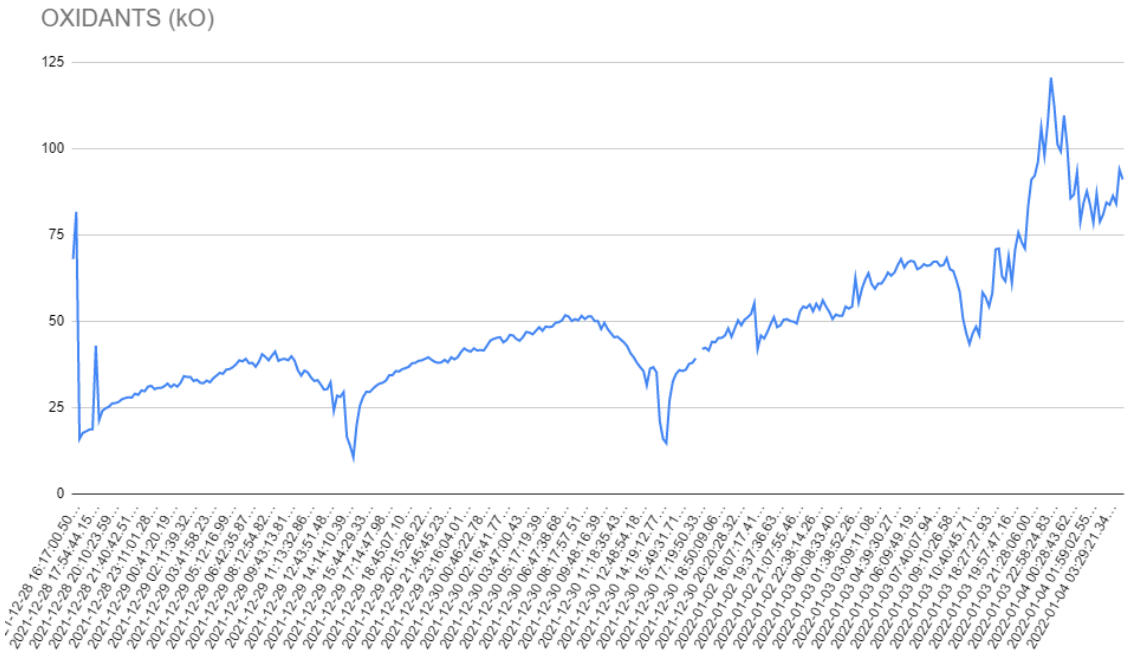


Fig. 3.25.: Gràfic d'oxidants. Font pròpia

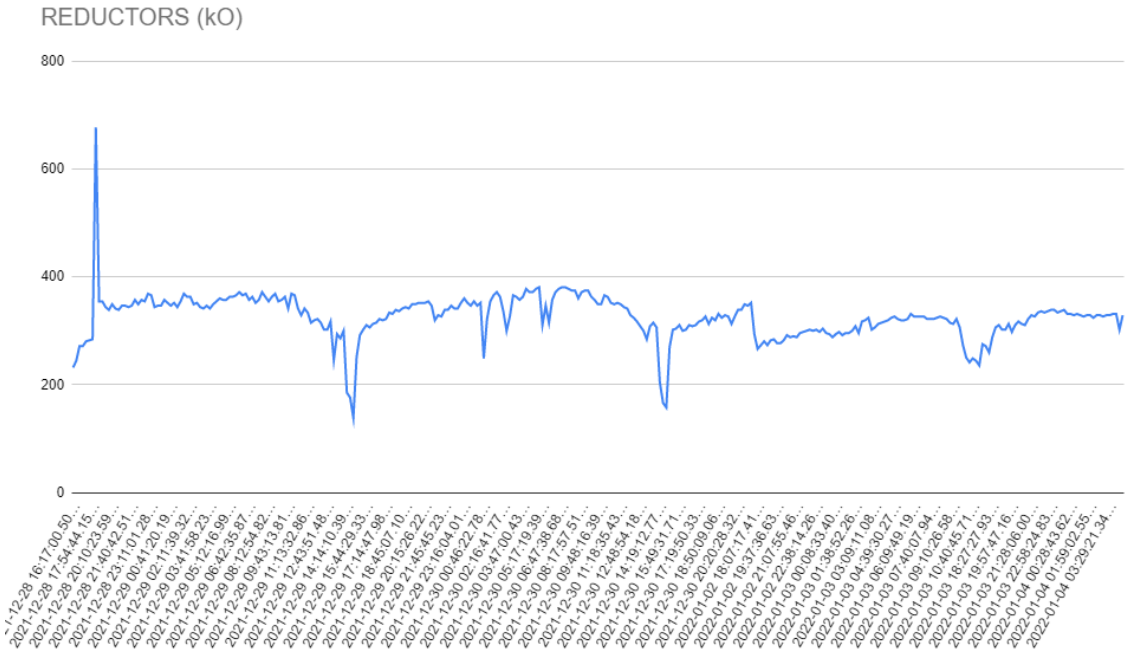


Fig. 3.26.: Gràfic de reductors. Font pròpia

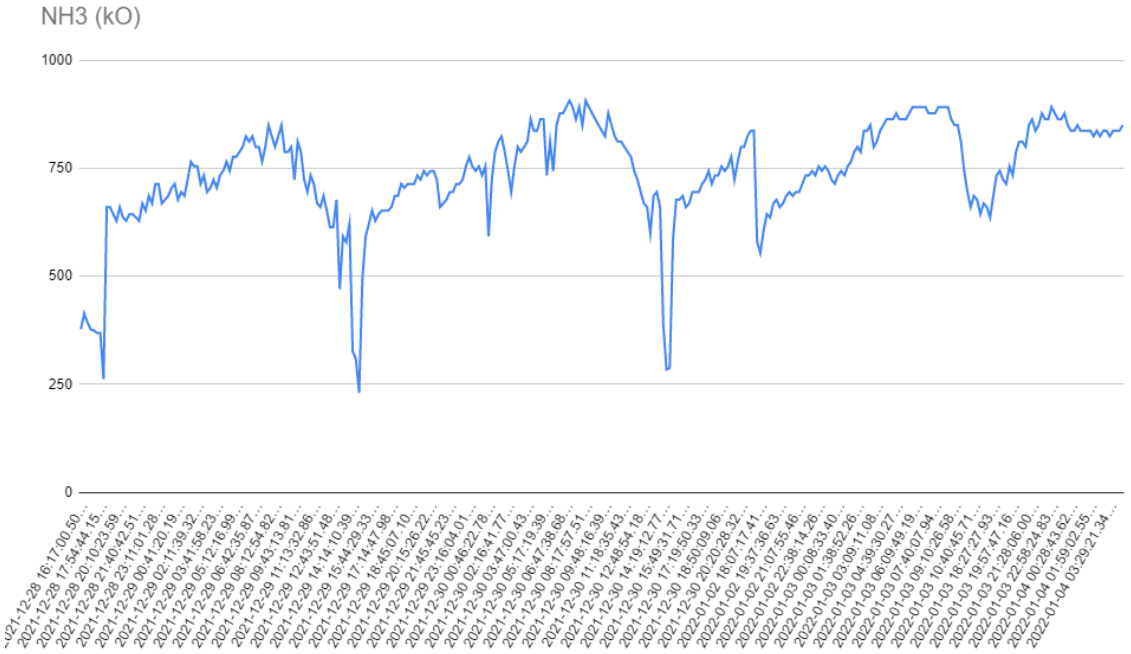


Fig. 3.27.: Gràfic d'amoníac (NH3). Font pròpia

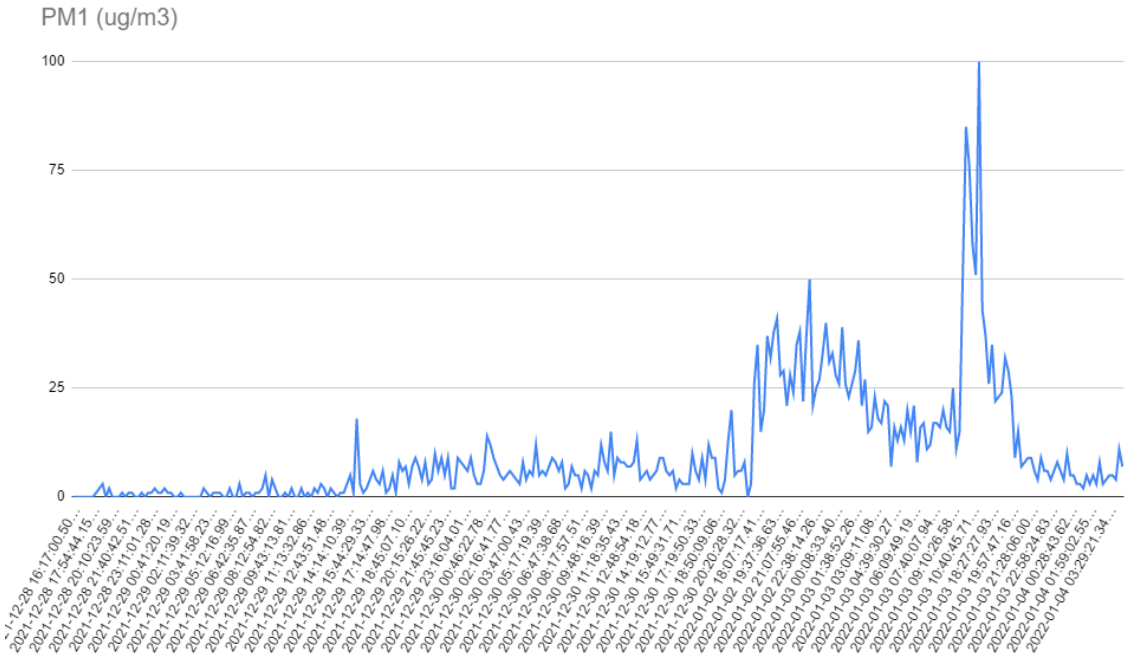


Fig. 3.28.: Gràfic de PM1. Font pròpia

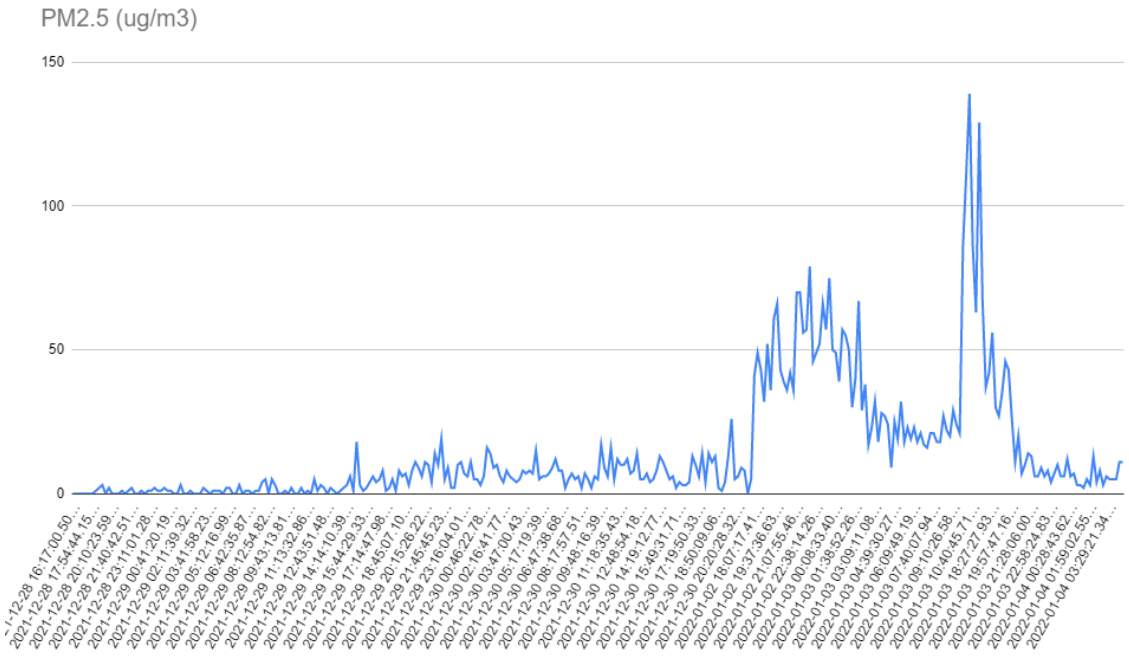


Fig. 3.29.: Gràfic de PM2.5. Font pròpia

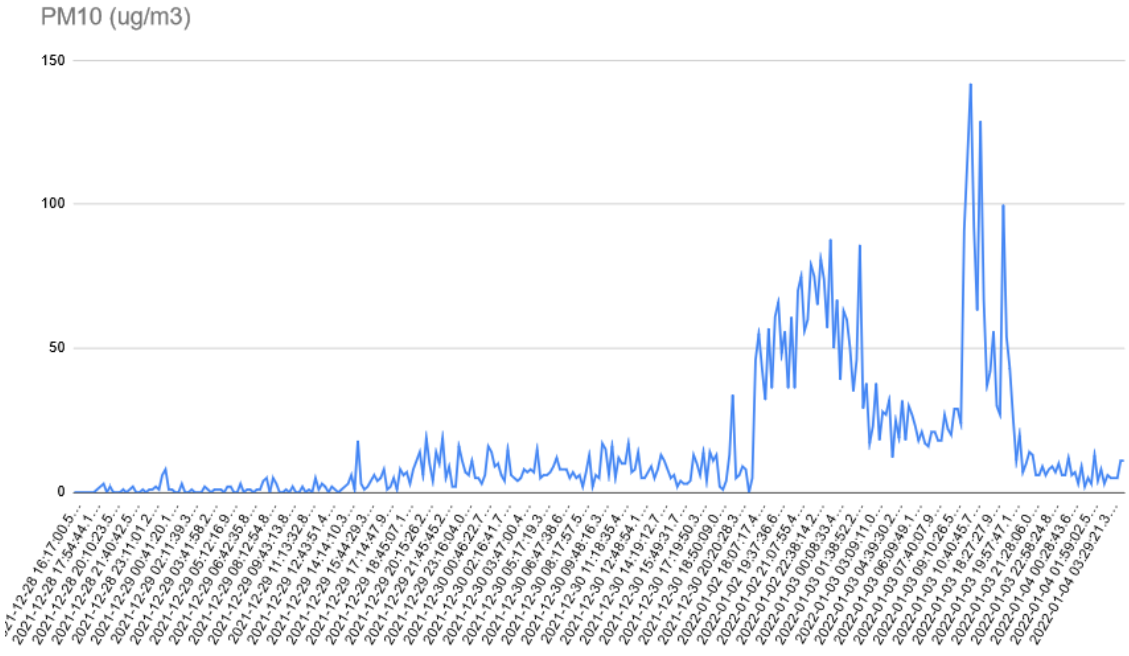


Fig. 3.30.: Gràfic de PM10. Font pròpia

3.4 Representació de dades pròpies amb RStudio (10/01/2022)

A continuació, representem amb RStudio les dades recollides amb la Raspberry Pi. Mostrem oxidants (kO), reductors (kO), NH3 (kO), PM1 ($\mu g/m^3$), PM2.5 ($\mu g/m^3$), PM10 ($\mu g/m^3$) i la llum (Lux).

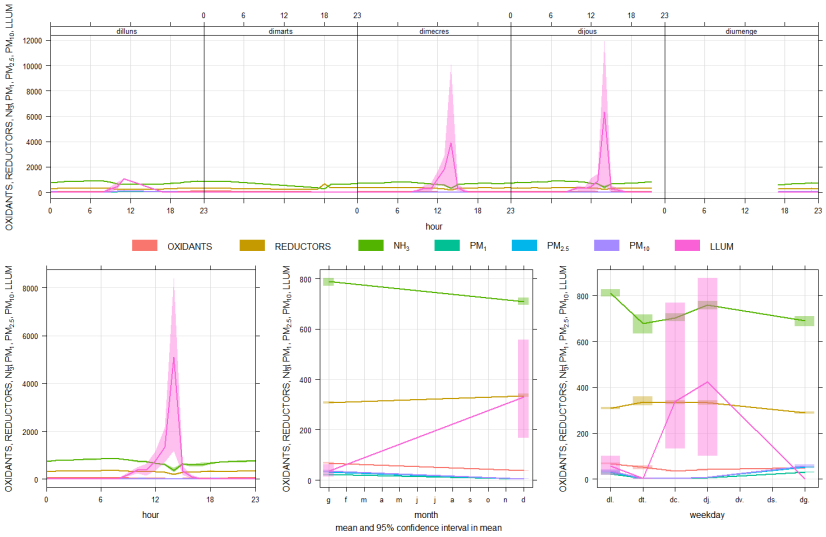


Fig. 3.31.: "Time Variation" de tots els contaminants i la llum. Font pròpia

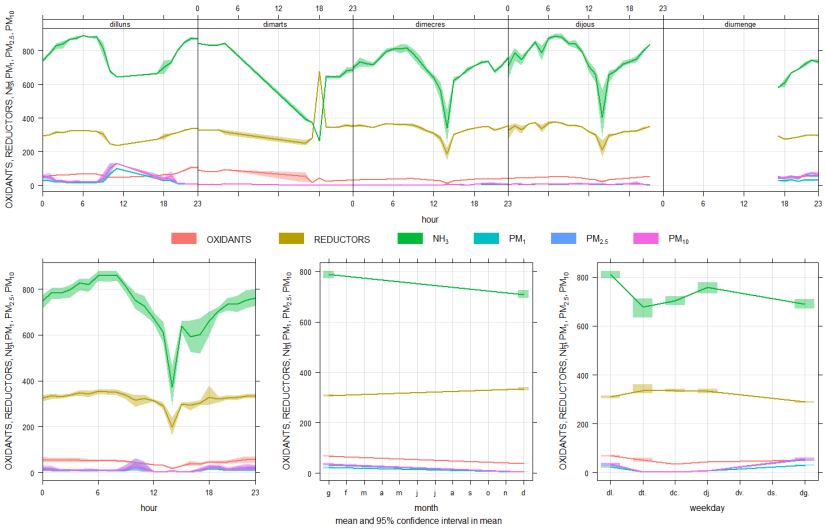


Fig. 3.32.: "Time Variation" de tots els contaminants (sense llum). Font pròpia

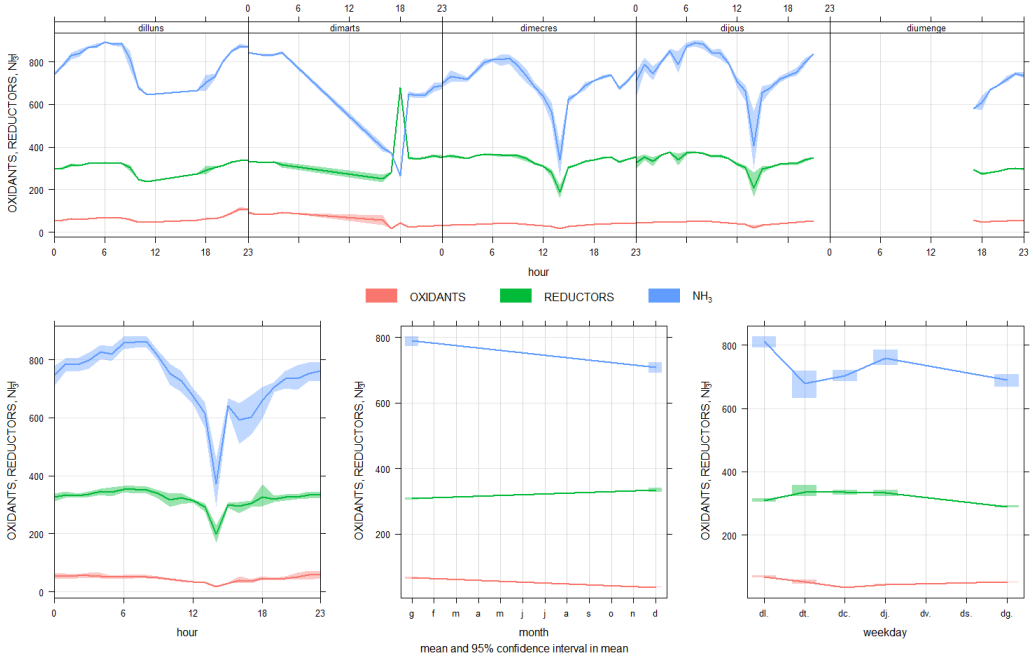


Fig. 3.33.: "Time Variation" d'oxidants, reductors i NH3 (sensor MICS6814). Font pròpia

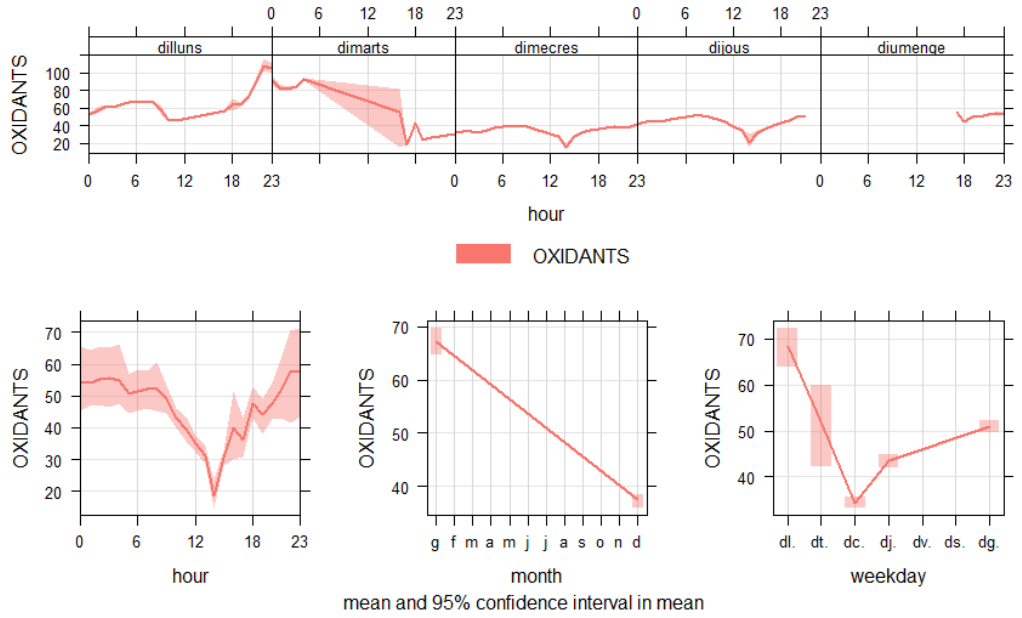


Fig. 3.34.: "Time Variation" d'oxidants. Font pròpia

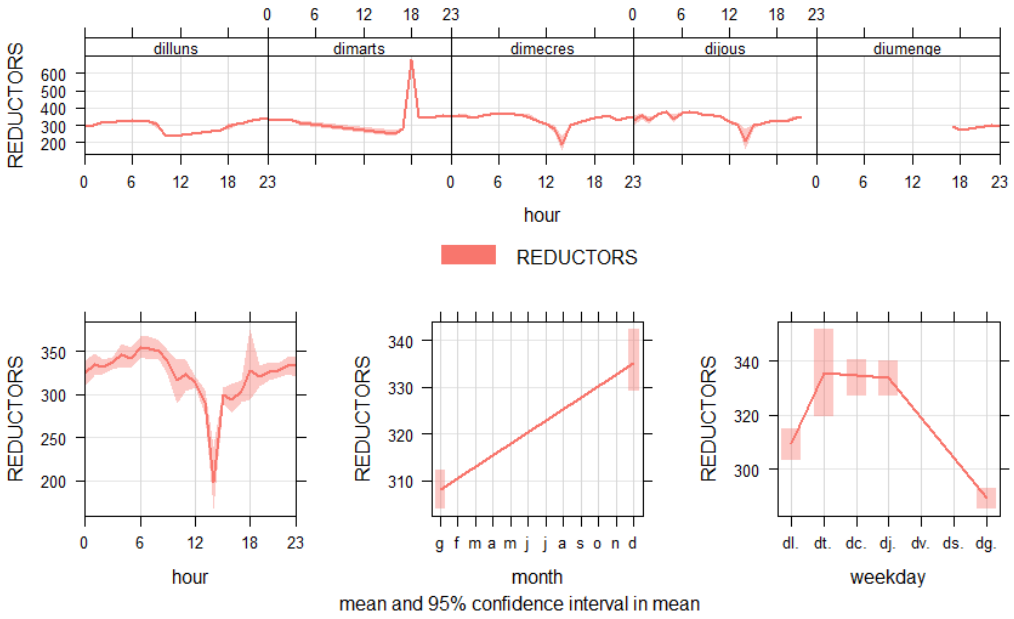


Fig. 3.35.: "Time Variation" de reductors. Font pròpia

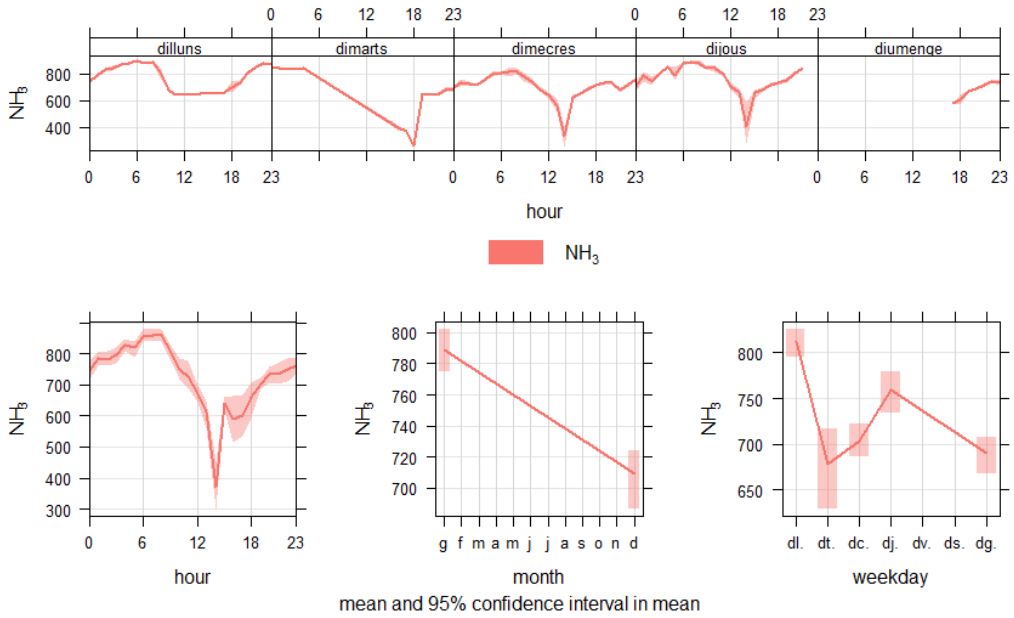


Fig. 3.36.: "Time Variation" d'amoníac. Font pròpia

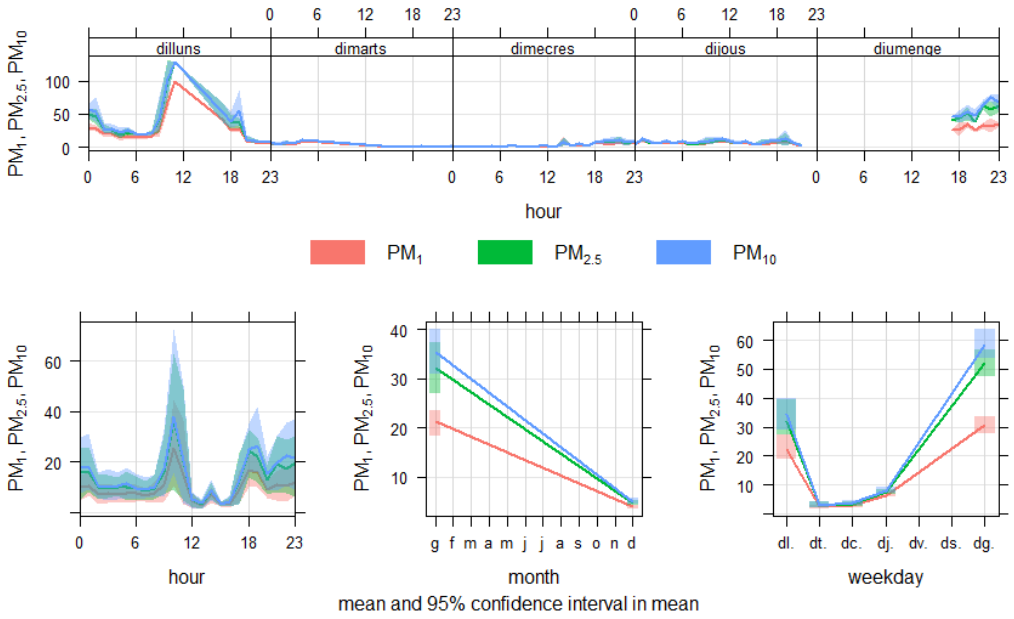


Fig. 3.37.: "Time Variation" de contaminants PM. Font pròpia

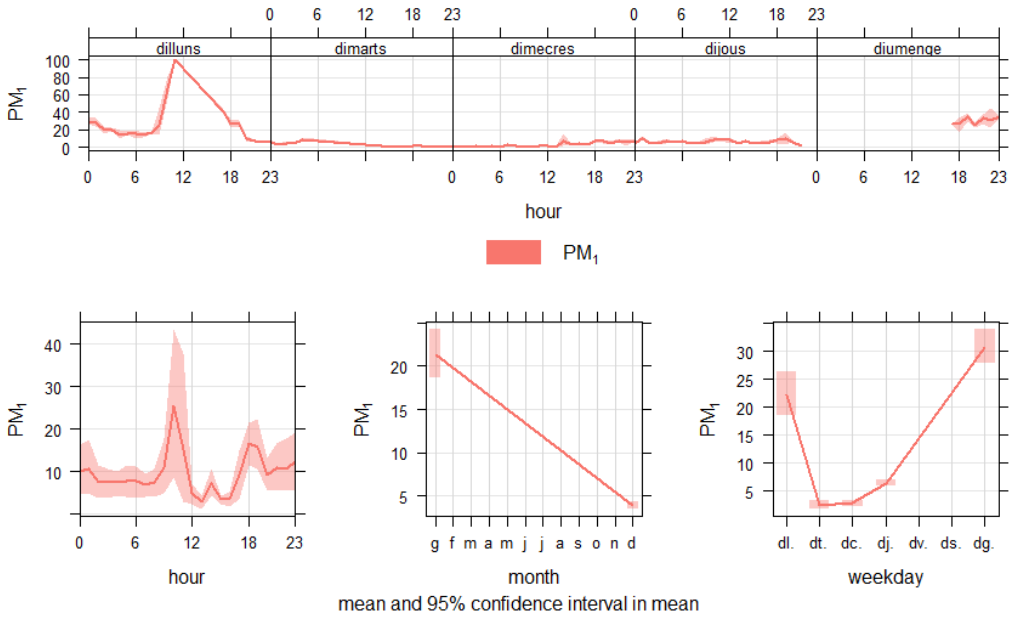


Fig. 3.38.: "Time Variation" de PM1. Font pròpia

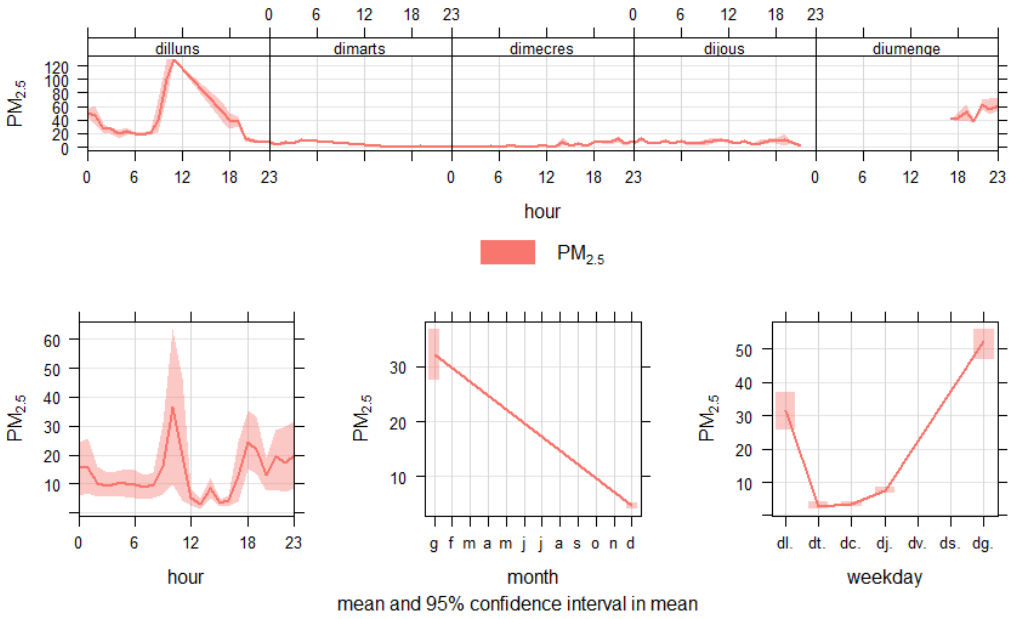


Fig. 3.39.: "Time Variation" de PM2.5. Font pròpia

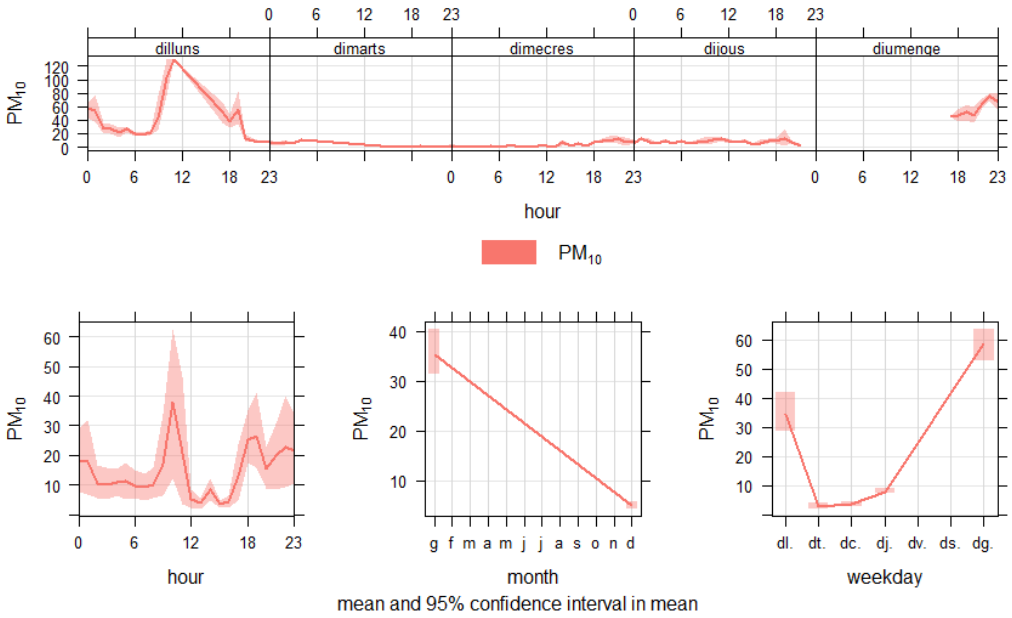


Fig. 3.40.: "Time Variation" de PM10. Font pròpia

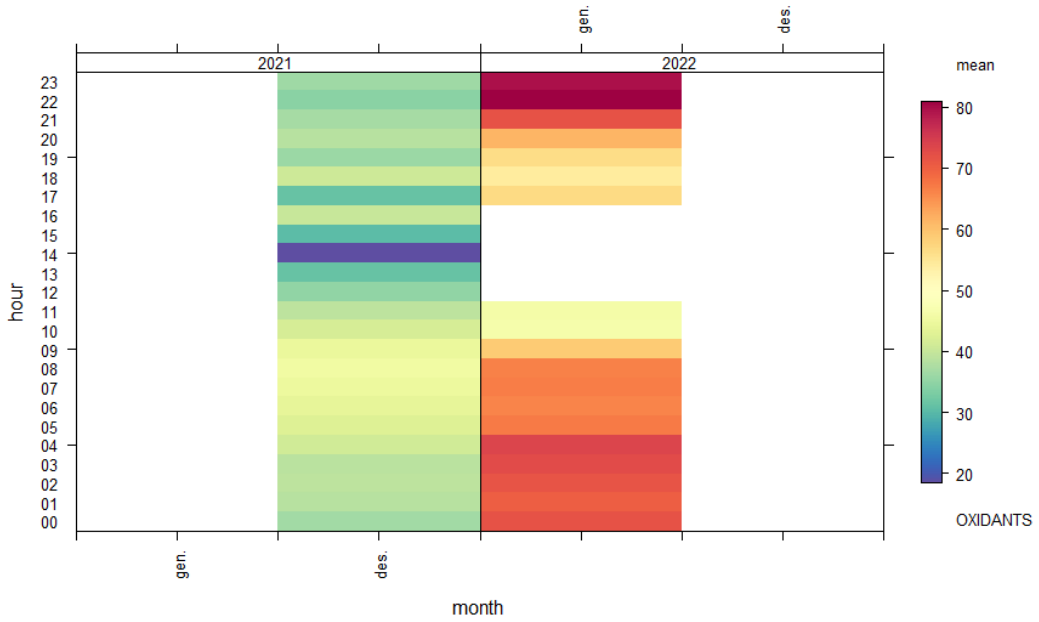


Fig. 3.41.: "Trend Level" d'oxidants. Font pròpia

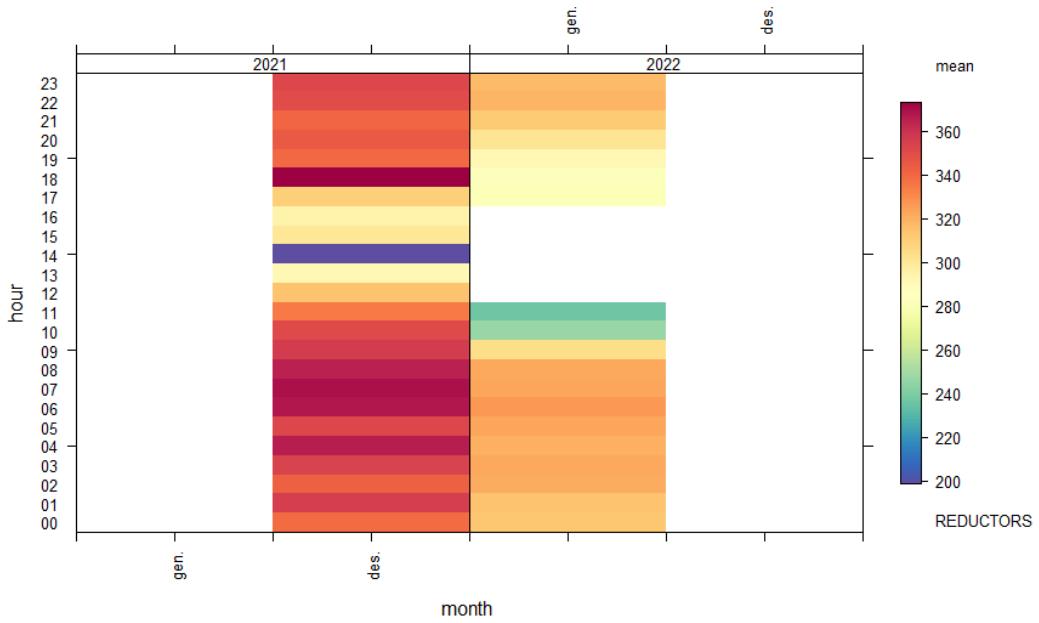


Fig. 3.42.: "Tend Level" de reductors. Font pròpia

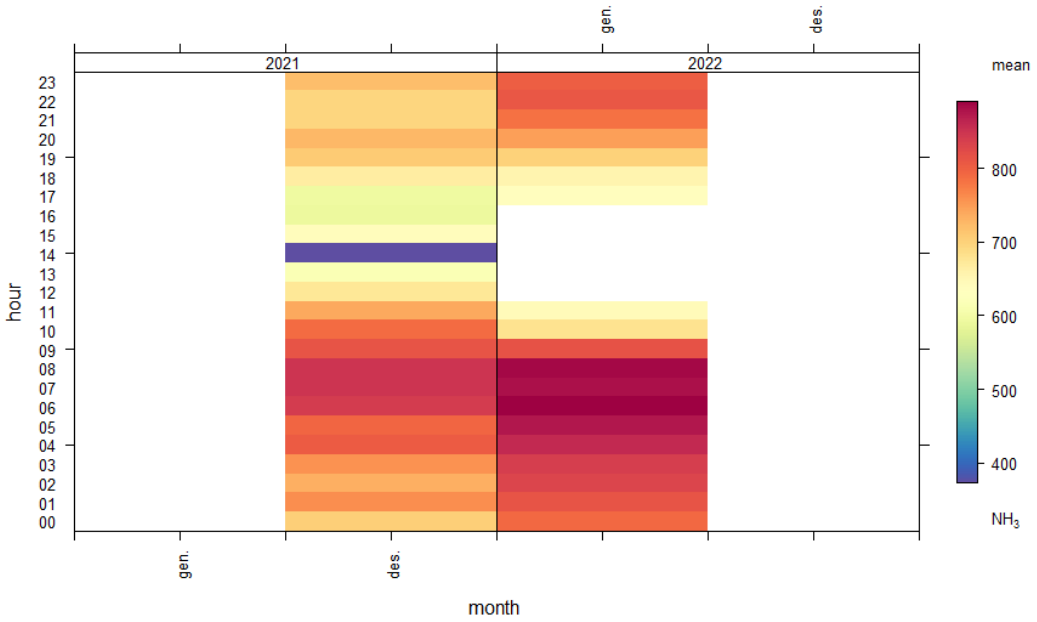


Fig. 3.43.: "Trend Level" d'amoníac. Font pròpia

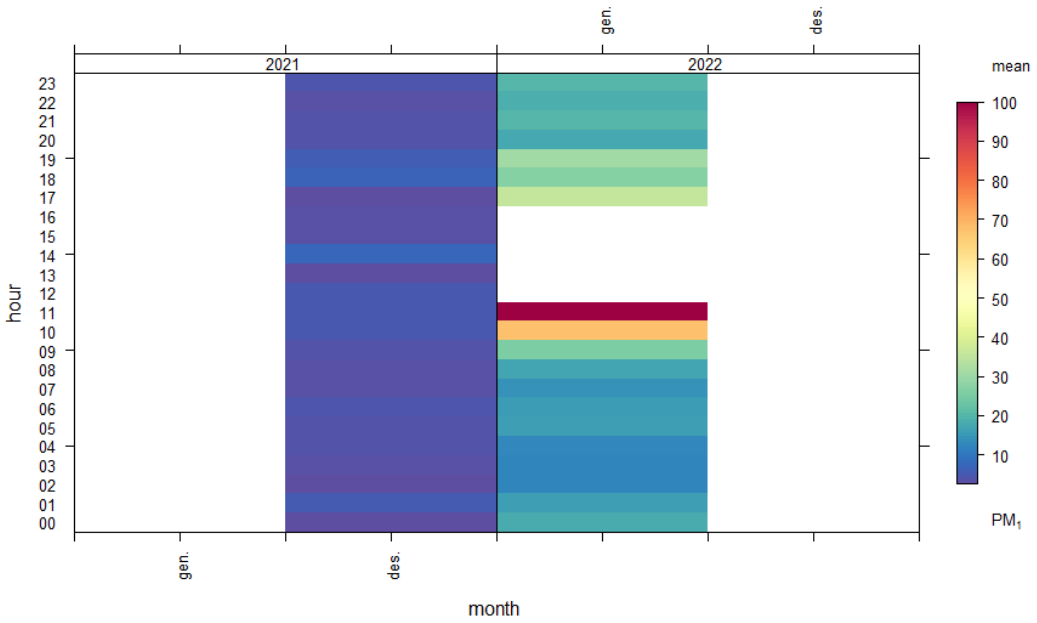


Fig. 3.44.: "Trend Level" de PM1. Font pròpia

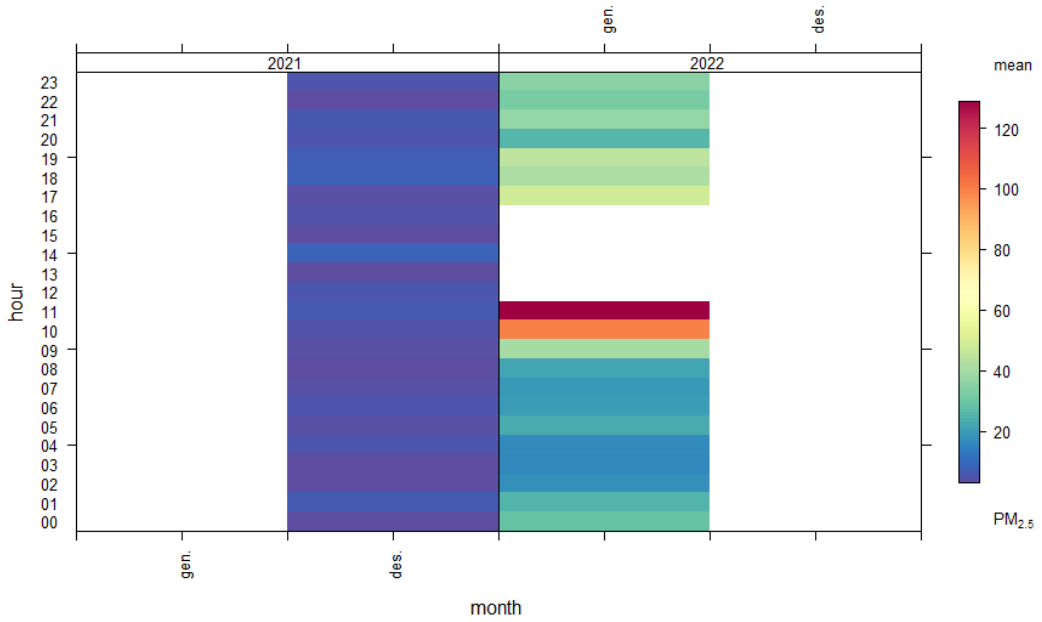


Fig. 3.45.: "Trend Level" de PM2.5. Font pròpia

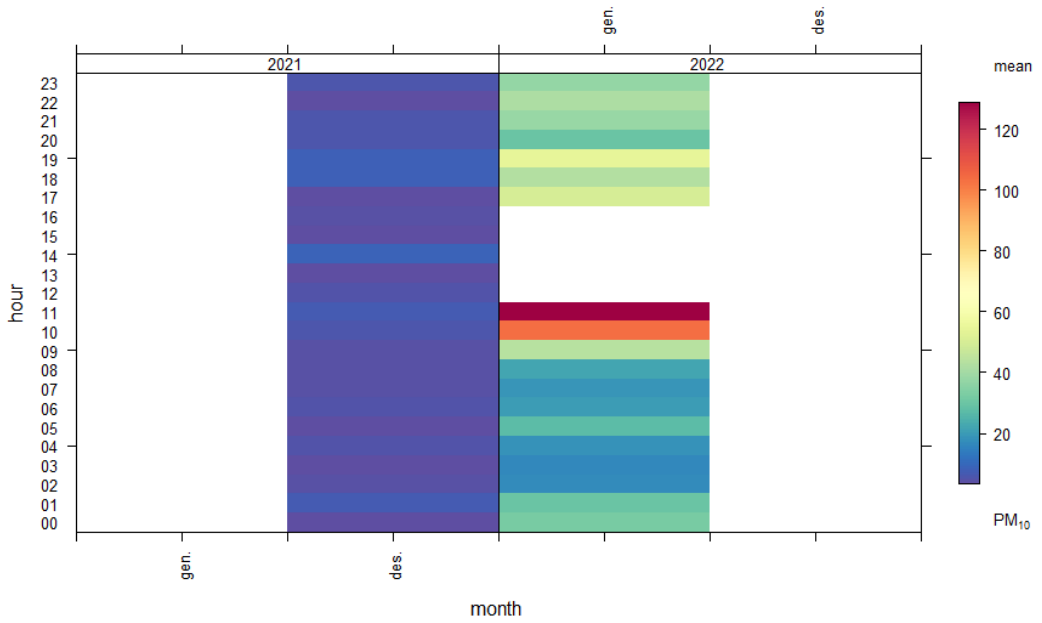


Fig. 3.46.: "Trend Level" de PM10. Font pròpia

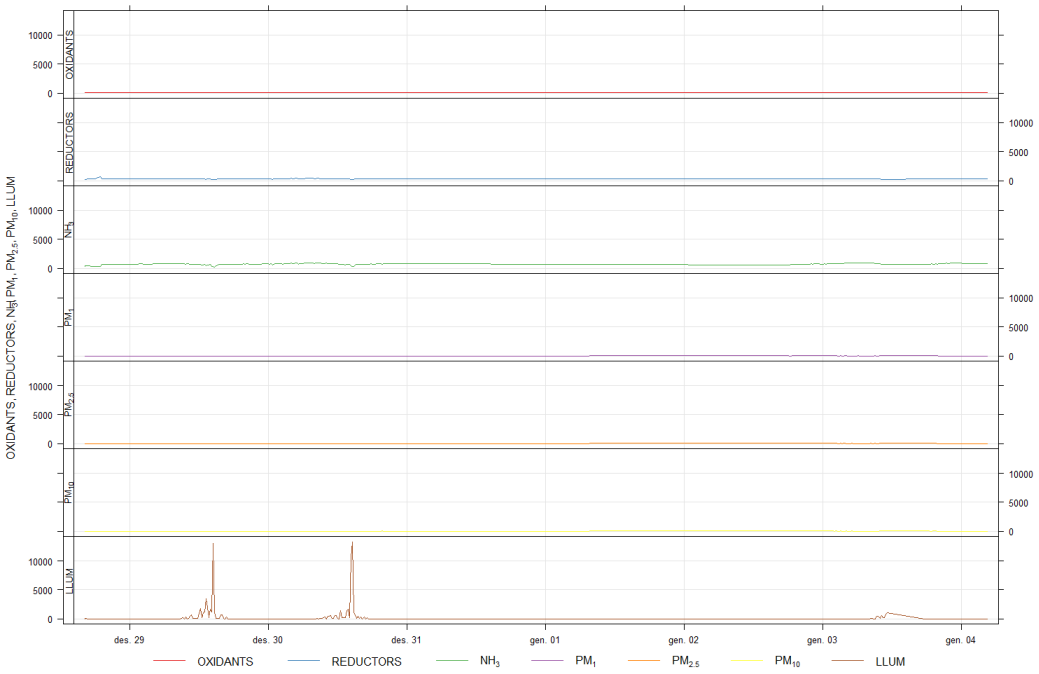


Fig. 3.47.: "Time Plot" de tots els contaminants i llum. Font pròpia

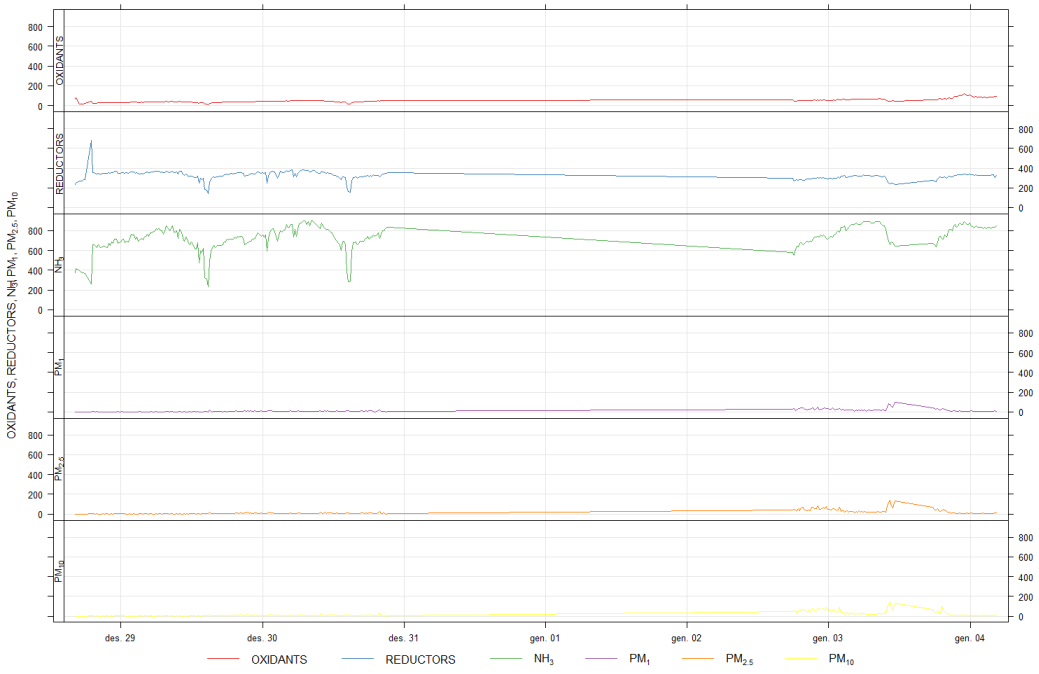


Fig. 3.48.: "Time Plot" de tots els contaminants (sense llum). Font pròpia

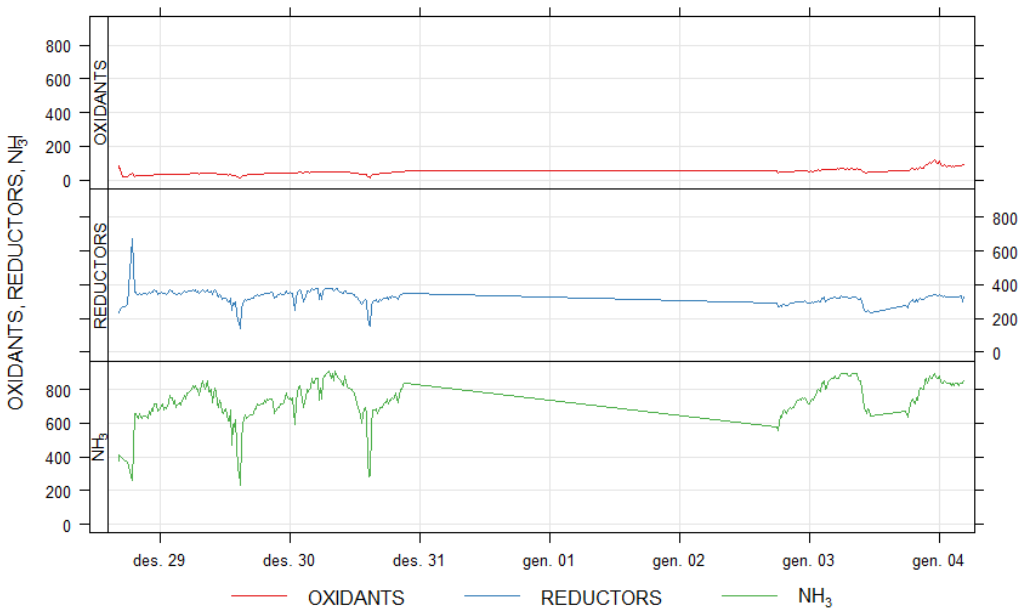


Fig. 3.49.: "Time Plot" d'oxidants, reductors i amoníac. Font pròpia

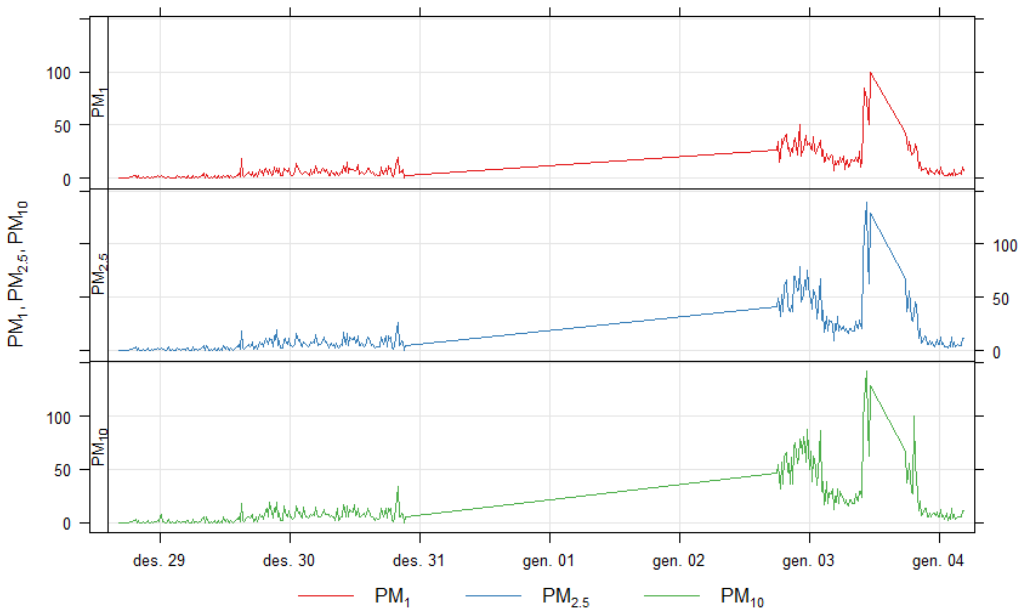


Fig. 3.50.: "Time Plot" de contaminants PM. Font pròpia

3.4.1 t-Student (12/01/2022)

En aquest apartat fem diversos t-Student per tal d'estudiar la relació entre contaminants molts similars, si varien molt entre el dia i la nit, al igual que entre les hores punta i vall. El codi utilitzat es troba en l'apèndix d'aquest mateix document (A.4).

PM1 i PM10 A continuació, fem una t-Student, per tal de determinar si hi ha diferència entre les dades recollides de PM1 i PM10, ja que, degut al sensor del que disposem, és possible que no distingeixi entre les dos mides de partícules.

```
> R -s -f main.r

    Welch Two Sample t-test

data:  x and y
t = -3.8398, df = 516.06, p-value = 0.0001384
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -8.545649 -2.760853
sample estimates:
mean of x mean of y
 10.11146  15.76471
```

Fig. 3.51.: t-Student de PM1 i PM10. Font pròpia

No obstant, al fer la t-Student de les dades observem que el *p-value = 0.0001384*, amb el que podem afirmar que les dades de PM1 i PM10 no són iguals, factor que s'afirma en la figura 3.52, on podem veure que la mitjana de tots dos contaminants és molt similar però que els valors màxims de PM10 són superiors als de PM1. A més, s'aprecia la diferència entre els valors atípics de PM1 dels de PM10, ja que aquests últims són molt més elevats.

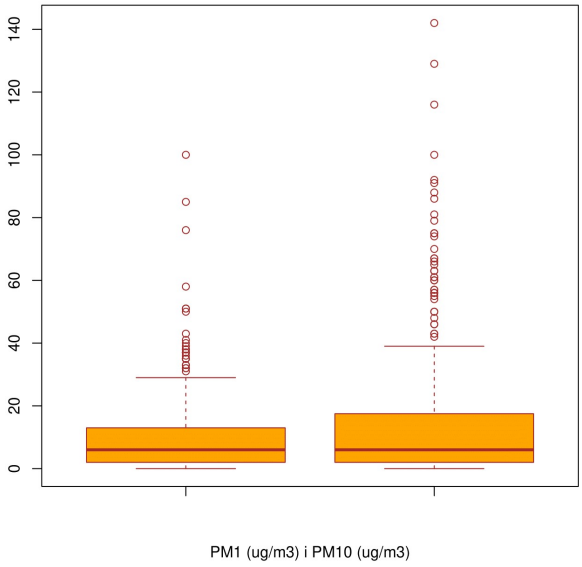


Fig. 3.52.: Gràfic de veles de PM1 i PM10. Font pròpia

Dia i nit A continuació, fem una t-Student, per tal de determinar si hi ha diferència entre les dades recollides durant el dia i la nit. Hem considerat (aproximadament) que el dia va de 7h a 19h i la nit, de 19h a 7h. A més, en la figura 3.54 mostrem una taula resum de les mitjanes ±desviació estàndard de cada contaminant, al igual que la *p-value* corresponent al seu *t-test*.

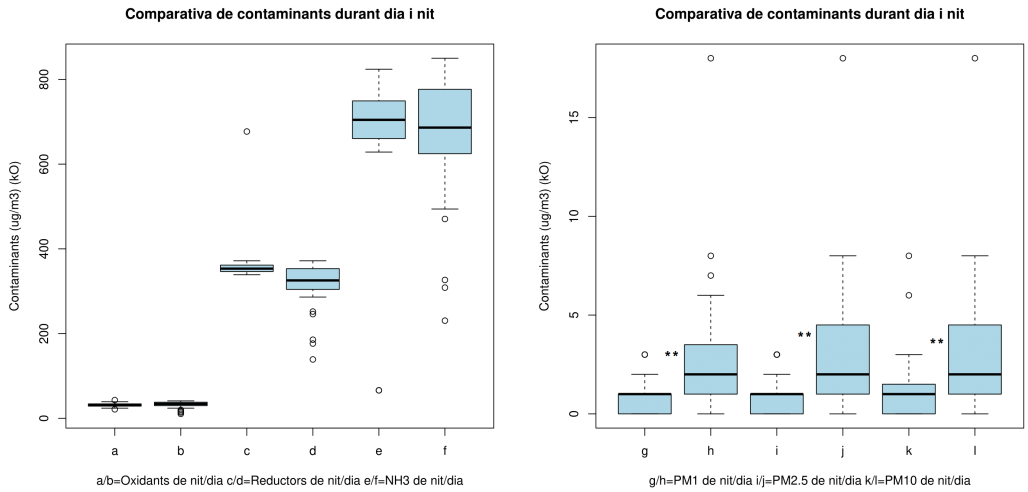


Fig. 3.53.: Gràfics de veles sobre els contaminants durant el dia i la nit (*p<0.05, **p<0.005). Font pròpia

De tots els contaminants estudiats, els que presenten diferències estadísticament significatives (*p-value<0.05*) són: els reductors amb *p-value=5.763e-05*, el PM1 amb *p-value=0.0004018*, el PM2.5 amb *p-value=0.0002496* i el PM10 amb *p-value=0.001918*. Si interpretem els gràfics dia/nit, podem extreure les conclusions següents. En el primer *t-test* (a,b), corresponent als oxidants, no hi ha una diferència significativa entre les mitjanes ni els valors màxims i mínims, a més, els valors atípics durant el dia són inferiors al seu valor mínim mentre que per la nit, els valors atípics estan una mica per sobre i per sota del seu valor màxim i mínim. En el segon *t-test* (c,d), corresponent als reductors, veiem una gran variació entre les dues mitjanes, sent per la nit superior a la del dia, amb uns valors màxims semblants però els mínims pel dia són inferiors als de la nit. Cal destacar que per la nit hi ha un valor atípic superior al valor màxim, mentre que pel dia hi ha una dispersió molt gran d'aquestes per sota del valor mínim. En el tercer *t-test* (e,f), corresponent als valors d'NH3, totes dues mitjanes difereixen una mica, sent per la nit més gran. Respecte als màxims i als mínims, el màxim durant el dia és superior al de la nit i el mínim durant el dia té un valor mínim molt inferior que durant la nit. Podem concloure que el rang de valors durant el dia és més extens que durant la nit. Pel que fa als valors atípics, en cap dels dos intervals de temps s'assoleix un valor atípic superior al màxim però sí hem de tenir present l'existència dels valors atípics sota els valors

mínims, havent-hi durant la nit un valor atípic molt més inferior que els que hi han durant el dia però havent-hi durant el dia més quantitat d'aquests. En el quart *t-test* (g,h), referent a les dades de PM1, podem observar que la mitjana que s'assoleix durant el dia és molt superior al de la nit. Seguidament, podem veure que els valors mínims són iguals tant durant el dia com per la nit, però és important destacar que durant el dia s'assoleixen uns màxims molt superiors als que hi ha per la nit. No hi han molts rangs atípics (per la nit hi ha un i pel dia hi han dos) però els que s'assoleixen pel dia són superiors als de la nit. En el cinquè *t-test* (i,j), referent a les dades de PM2.5, podem observar que l'única diferència entre l'anterior *t-test*, referent a PM1, i aquest és que el valors màxims de PM2.5 durant el dia assoleixen uns valors superiors als de PM1. Cal comentar que, a diferència de les dades de PM1, les dades de PM2.5 recollides durant el dia no contenen valors atípics. En el sisè *t-test* (k,l), referent a les dades de PM10, podem destacar que l'única diferència entre l'anterior *t-test*, referent a PM2.5, i aquest és el valor màxim que s'arriba durant la nit, sent superior en aquest apartat, i la presència de valors atípics en aquest mateix interval, amb una gran dispersió entre aquests.

Taula de dades dia/nit (mitjana ± desviació estàndard)

	Dia	Nit	p-value
Oxidants	32.58 ±6.78	31.69 ±4.36	0.4486
Reductors	318.58 ±48.96	360.09 ±47.55	0.05763
NH3	671.75 ±131.96	683.66 ±141.34	0.6707
PM1	2.5 ±3.1	0.75 ±0.84	0.0004018
PM2.5	2.77 ±3.22	0.88 ±0.91	0.0002496
PM10	2.77 ±3.22	1.1 ±1.55	0.001918

Fig. 3.54.: Taula resum de les dades dia/nit. Font pròpia

Hores punta i hores vall A continuació, fem una t-Student, per tal de determinar si hi ha diferència entre les dades recollides durant les hores punta i les hores vall. Hem considerat (aproximadament) que les hores punta van de de 7h a 10h i de 18h a 21h i les hores vall, de 10h a 18h. A més, en la figura 3.56 mostrem una taula resum de les mitjanes ±desviació estàndard de cada contaminant, al igual que la *p-value* corresponent al seu *t-test*.

De tots els contaminants estudiats, els que presenten diferències estadísticament significatives ($p\text{-value}<0.05$) són: els oxidants amb $p\text{-value}=2.767e\text{-}08$, els reductors $p\text{-value}=1.19e\text{-}06$ i l'amoníac amb $p\text{-value}=3.151e\text{-}07$. Si interpretem els gràfics d'hores punta/vall, podem extreure les conclusions següents. En el primer *t-test* (a,b), corresponent als oxidants, podem apreciar que les mitjanes són molt semblants, a les hores punta és superior a les hores vall, conjuntament amb els valors màxims i mínims. Els valors atípics existents durant les hores punta i vall, estan per sota

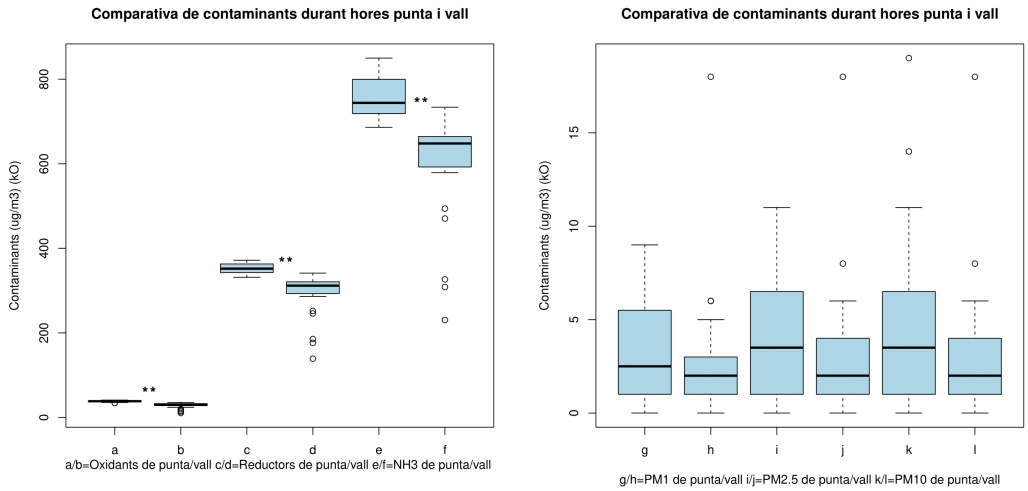


Fig. 3.55.: Gràfics de veles sobre els contaminants durant les hores punta i vall (*p<0.0, **p<0.005). Font pròpia

de tots dos valors mínims, havent una quantitat més elevada durant les hores vall. En el segon *t-test* (c,d), corresponent als reductors, podem afirmar que les mitjanes presenten variacions i que, per les hores punta, és superior a la mitjana de les dades recollides durant les hores vall. Cal destacar que els valors màxims i mínims representats es diferencien molt durant les hores punta i vall. A més, respecte als valors atípics, no hi ha presència d'aquests durant les hores punta però sí que hi ha una gran quantitat d'aquests durant les hores vall, tots per sota del valor mínim. En el tercer *t-test* (e,f), corresponent a les dades d'NH3, veiem grans variacions. Primerament, les mitjanes són molt diferents, sent a les hores punta molt superior a les de les hores vall. Hi ha una gran distància entre els valors màxims, assolint per les hores punta uns màxims superiors als recollits durant les hores vall, mentre que els mínims són més inferiors durant les hores vall que durant les hores punta. Els valors atípics són inexistents durant les hores punta, però per les hores vall podem observar una gran dispersió entre aquests per sota del valor mínim. En el quart *t-test* (g,h), corresponent a les dades de PM1, podem veure una variació entre totes dues mitjanes, on per les hores punta s'assoleix una mitjana superior a la que podem trobar durant les hores vall. Pel que fa als màxims i als mínims, podem veure que els mínims són pràcticament iguals mentre que per als màxims hi ha més variació, assolint per les hores punta un màxim superior al que es pot veure durant les hores vall. Cal destacar la poca presència de dades atípiques, on només apareixen durant les hores vall i amb molta dispersió. En el cinquè *t-test* (i,j), corresponent a les dades de PM2.5, podem observar que l'única diferència entre l'anterior *t-test*, referent a PM1, és una major dispersió entre les mitjanes, on per a les hores punta s'assoleixen uns valors superiors. Pel que fa als màxims, difereixen de l'anterior

apartat en que tots dos augmenten, havent per les hores punta una major variació. Les dades atípiques durant les hores vall tenen diferents valors i menys dispersió que les dades de PM1. En el sisè *t-test* (k,l), corresponent a les dades de PM10, podem observar que l'única diferència entre l'anterior *t-test*, referent a PM2.5, i aquest és que en les dades de PM10 han sorgit valors atípics durant les hores punta (abans inexistents).

Taula de dades hores punta/vall (mitjana ± desviació estàndard)

	Hores punta	Hores vall	p-value
Oxidants	38.03 ±1.75	28.77 ±6.42	2,77E-05
Reductors	352.43 ±11.1	293.6 ±50.04	1.19E-06
NH3	760.36 ±48.75	600.54 ±125.16	3,15E-04
PM1	3.29 ±2.89	2.61 ±3.48	0.4309
PM2.5	4.04 ±3.62	2.93 ±3.63	0.2579
PM10	4.5 ±4.7	2.93 ±3.63	0.1677

Fig. 3.56.: Taula resum de les dades hores punta/vall. Font pròpia

3.5 Mostra de dades pròpies amb MIT App Inventor (15/01/2022)

En aquest apartat, mostrem les dades recollides per la Raspberry Pi en una app, programada amb *MIT App Inventor* (3.58). Els passos a seguir per a fer-la es troben a l'anterior secció (2.2.3).

Primerament, cal esmentar que hem tingut problemes amb les comes en la representació a l'aplicació. Encara que l'aplicació visualitza el full de *GoogleSheets* on les dades porten la coma correctament, aquestes no apareixen d'igual manera a l'aplicació (apareixien sense coma). Per a posar-les hem utilitzat condicionals, per tal que la part entera es visualitzi correctament, ja que moltes dades enviades pel sensor tenen diferent nombre de xifres.

Hi han set dades d'oxidants que són una excepció (3.57), ja que la seva part entera varia de la resta. No ho hem solucionat perquè si hi hagués un altre condicional (cosa que no pot ser, ja que tres condicionals es contradiuen), canviarien totes les altres dades.

Fig. 3.57.: Captures de l'error de l'app. Font pròpia

Per tal de descarregar-la en el vostre dispositiu Android, us proporcionem l'enllaç de descàrrega:

- APLICACIÓ: Contaminació a Martorell [20]

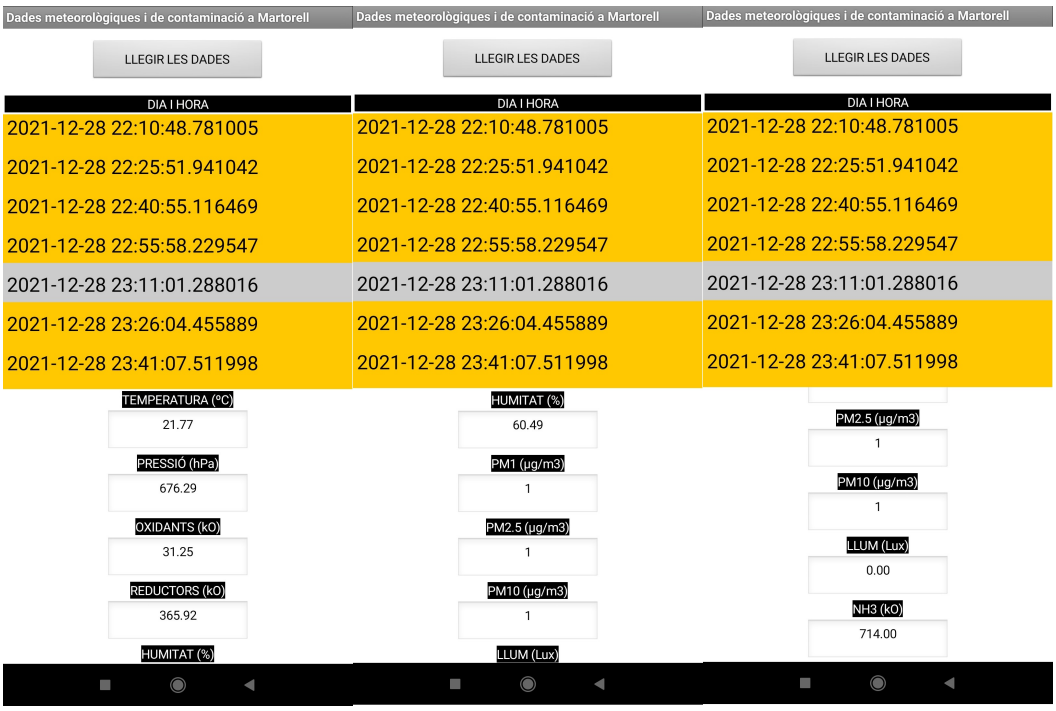


Fig. 3.58.: Captura de la 1a aplicació en funcionament. Font pròpia

De la mateixa manera, és necessari donar els permisos corresponents per a instalar-la.

3.6 Web HTML (17/01/2022)

En aquest apartat donem accés a la pàgina HTML del nostre projecte, oberta al públic. En aquesta, es troba tant els resultats obtinguts amb *Integromat* com l'enllaç a la descàrrega de l'aplicació feta amb *MIT App Inventor*. L'explicació dels passos a seguir per publicar el *GoogleSheets* en la web es troba en l'anterior secció (2.2.2).

La nostra web és la següent:

"`https://estacio-martorell.neocities.org/`"[21]

3.7 Problemes de (hardware i) software (29/09/2021)

En aquest apartat tractem els diversos problemes amb els que ens hem topat durant la construcció de l'estació, sobretot les limitacions dels diferents programes responsables de la representació de dades.

Abans de treballar amb Integromat, hem passat per molts altres programes que, degut als nostres objectius o al hardware del que disposàvem, no hem pogut utilitzar en aquest treball.

A més, en l'apèndix d'aquest mateix document adjuntem una taula comparativa d'aquests programes, dividida en quatre parts (figures A.11, A.12, A.13, A.14).

Blink En aquest programa (3.59), disposem d'una versió gratuïta amb algunes limitacions. Podem connectar dos dispositius com a màxim, al igual que tindre només 5 usuaris, no més. Treballa amb "Widgets" bàsics i emmagatzema només una setmana de dades.

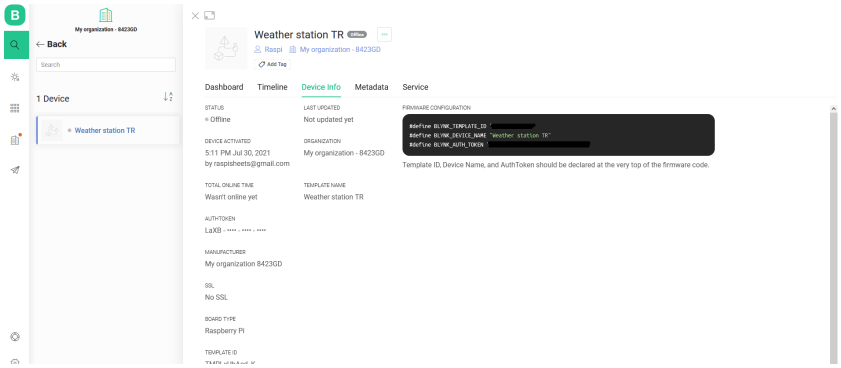


Fig. 3.59.: Captura de la "Device info" del prgrama Blink. Font pròpia

Per altra banda, la "Versió Plus" que ens podríem permetre com a alumnes és la versió pagada de USD $4.99/mes. Les característiques augmenten a deu dispositius i deu usuaris com a màxim. Disposem d'una versió professional de "Widgets" per a mòbil, una pàgina addicional a l'aplicació i un emmagatzematge de tres mesos de dades.

Per tant, no utilitzem aquest programa degut a que no hi ha canvis significatius a l'hora d'utilitzar el programa (si usem la "Versió Plus"). A més, presenta una interfície gràfica massa bàsica en la versió gratuïta, i té una difícil connexió entre la Raspberry Pi i el programa.

Thingsboard En aquest programa, la versió gratuïta presenta diverses característiques, com dispositius il.limitats i actualitzacions de programari i.limitades. A més, dona l'opció a tindre la capacitat a contribuir i suport comunitari. No obstant, necessita instal.lació, punt a tindre en compte.

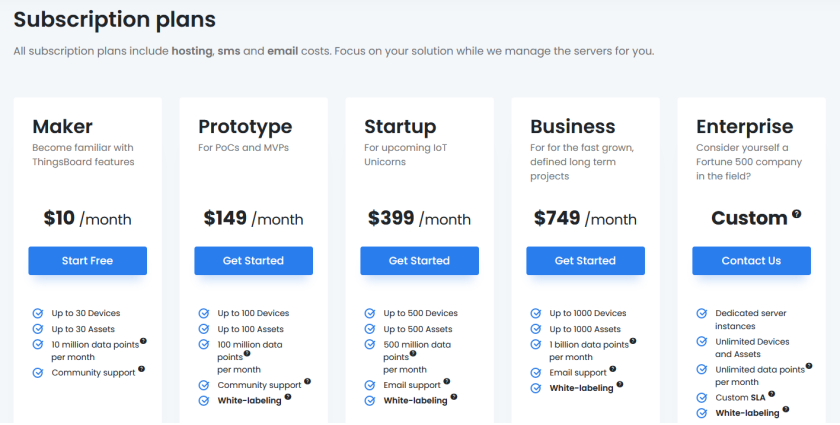


Fig. 3.60.: Captura de les possibles subscripcions del programa Thingsboard. Font pròpia

Per altra banda, tot això es compensa presentant una interfície gràfica massa senzilla i un difícil enllaç entre la pàgina i la Raspberry Pi. Per aquesta raó, se'ns presenta l'opció de pagar $10/mes, i accedir a la "Versió Maker" (3.60). On es milloren els gràfics, tenint deu milions de punts de dades per mes ("data points"). No obstant, els dispositius i actius es veuen reduïts a trenta per cadascun. Però el suport comunitari es conserva.

Ubidots En aquest programa, la versió gratuïta inclou tres dispositius gratuïts per sempre, més de dos-centes biblioteques i tutorials de dispositius de codi obert, i taulers de control en temps real amb més de trenta tipus de "Widgets" (i les eines per codificar els nostres propis).

Com en els programes anteriors, la representació de les dades és massa bàsica en aquesta versió (3.61). La versió més pròxima a la gratuïta és la "Versió IoT Entrepreneur" que, desgraciadament, és massa cara ($49/mes) i no entra dintre del que ens podem permetre com a estudiants.

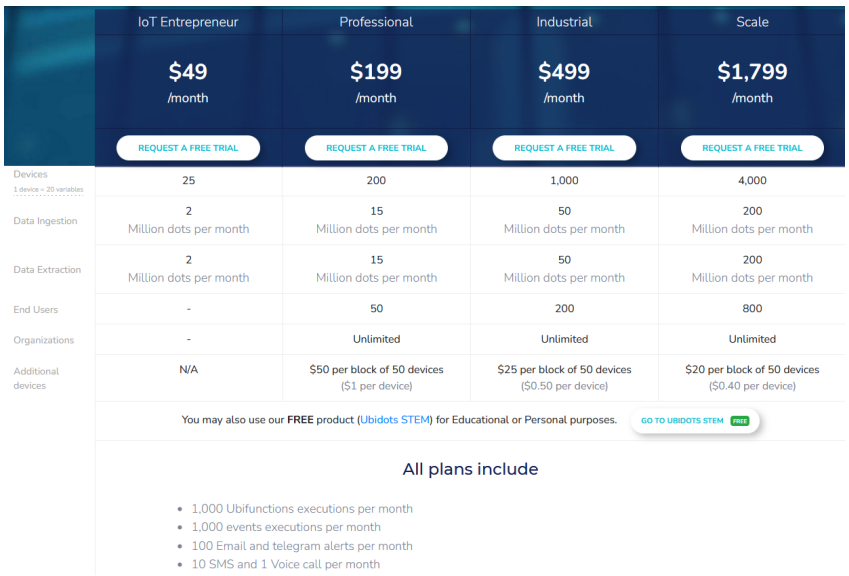


Fig. 3.61.: Captura de les possibles subscripcions del programa Ubidots. Font pròpia

Firebase En aquest programa, amb la versió gratuïta ens trobem amb quotes d'ús de Database (base de dades), Firestore, Storage, Functions, Phone Auth, Hosting i Test Lab. A més, no té capacitat per estendre el teu projecte amb Google Cloud. No obstant, sí s'inclouen a tots els plans, com Analytics, Notifications, Crash Reporting, assistència i altres.

Per altra banda, la versió de pagament ("Versió Blaze") (3.62)inclou l'ús gratuït que es calcula per dia. Després, pagues només pel que utilitzis en el teu projecte concretament. A diferència de la versió gratuïta, aquesta sí té la capacitat per estendre el teu projecte amb Google Cloud. I, al igual que abans, s'inclouen a tots els plans.

El major problema amb el que ens hem trobat és l'alta complexitat de la navegació per la web. És molt poc intuitiva, el que ens dificulta encara més la feina.

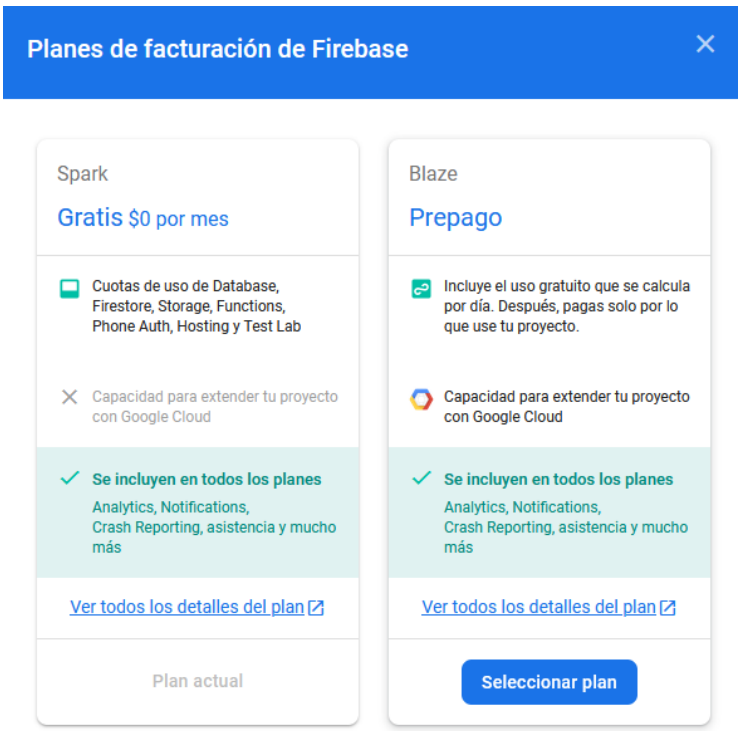


Fig. 3.62.: Captura de les possibles subscripcions del programa Firebase. Font pròpia

Adafruit En aquest programa, amb la versió gratuïta se'ns dona accés a trenta "datapoints" per minut i trenta dies d'emmagatzematge de dades. També s'activa cada quinze minuts. I pel que fa als límits, tenim cinc taulers, dos dispositius "WipperSnapper", cinc grups i deu alimentacions.

Per altra banda, la "Versió Power Up" (3.63), que ens podríem permetre, té un preu de $10/mes o $99/any. La versió inclou seixanta "datapoints" per minut, seixanta dies d'emmagatzematge de dades, i es dispara cada cinc segons. Disposem de taulers de control, dispositius "WipperSnapper", grups i feeds il.limitats

A més, el programa es presenta amb una interfície gràfica bastant confusa, amb la que no ens trobem còmodes per a treballar.

Cayenne En aquest cas, se'ns fa molt difícil realitzar el treball en ment, degut a que la versió gratuïta és massa bàsica i la pàgina web, molt confusa (3.64). A més, és necessari contactar amb l'empresa per a arribar a definir límits i preu, cosa que no estàvem disposats a fer, ja que no som cap empresa treballant professionalment.

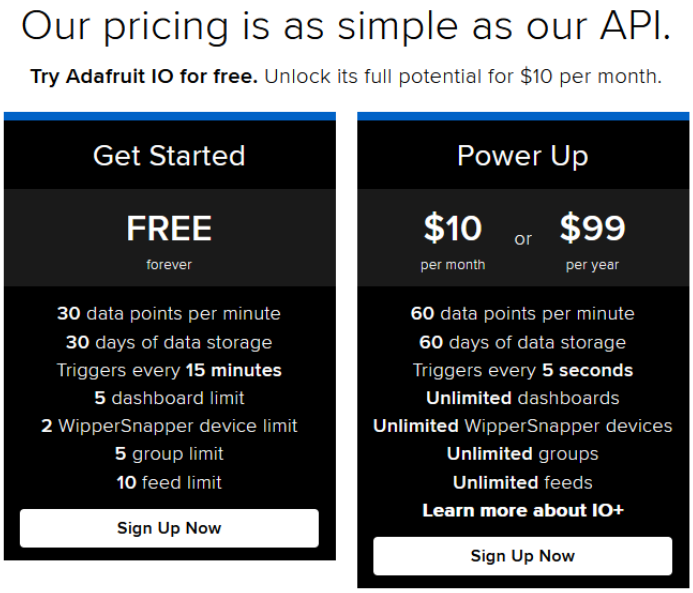


Fig. 3.63.: Captura de les possibles subscripcions del programa Adafruit. Font pròpia

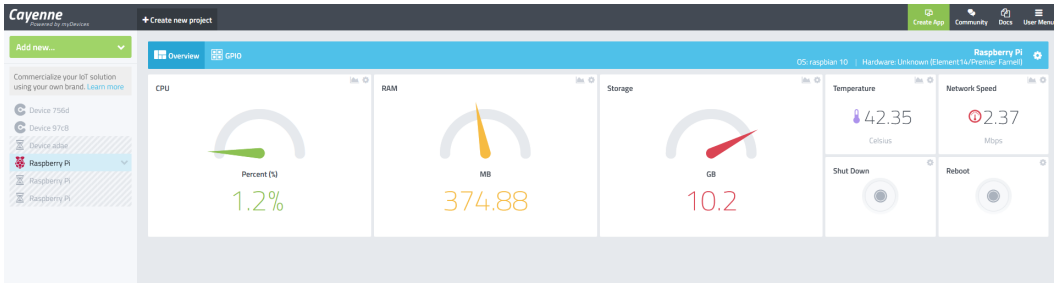


Fig. 3.64.: Captura de la "Overview" de les representacions fetes amb Cayenne. Font pròpia

Dweet Amb aquest programa, ens hem trobat amb un problema greu. El vam provar fa uns mesos i, l'únic desavantatge que vam poder observar va ser que era massa senzill i simple. No obstant, al tornar a treballar amb ell després d'un temps sense utilitzar-lo ens vam trobar que, com a limitacions, si voliem conservar les notres dades, havíem de pagar 1,99 $ per bloquejar-les, per tal de guardar-les durant trenta dies. Això és degut a que només conservem les cinc últimes "dades" durant 24 hores, tret que sigui un lloc bloquejat. Per tant, tots els bloqueigs fets apareixeran com a única línia a la factura de la targeta de crèdit cada mes per l'import total combinat.

Thingspeak En aquest programa, la versió gratuïta presenta tres milions de missatges per any (8200/dia), un interval d'actualització de missatges cada quinze

segons, quatre canals, vint segons de "MATLAB Compute Timeout", una compartició de canals privats limitat a tres accions i un suport tècnic i comunitari.

En general, el programa és de molta complexitat i té una difícil connexió entre el programari i la Raspberry Pi. A més, la versió de pagament ("Versió Standard") és massa cara per nosaltres: "USD 650.00 price/unit/year".

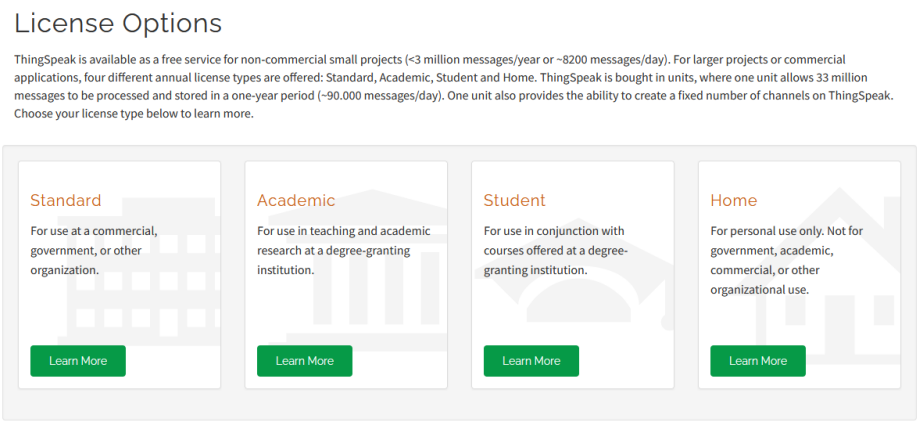


Fig. 3.65.: Captura de les possibles subscripcions del programa Thingspeak. Font pròpia

Balena En aquest programa, els deu primers dispositius són gratuïts amb totes les seves funcions. No obstant la versió de pagament ("Versió prototype") és massa cara ($ 109/mes). No utilitzem Balena degut a que és massa complex i té una difícil interpretació de les dades (3.66).

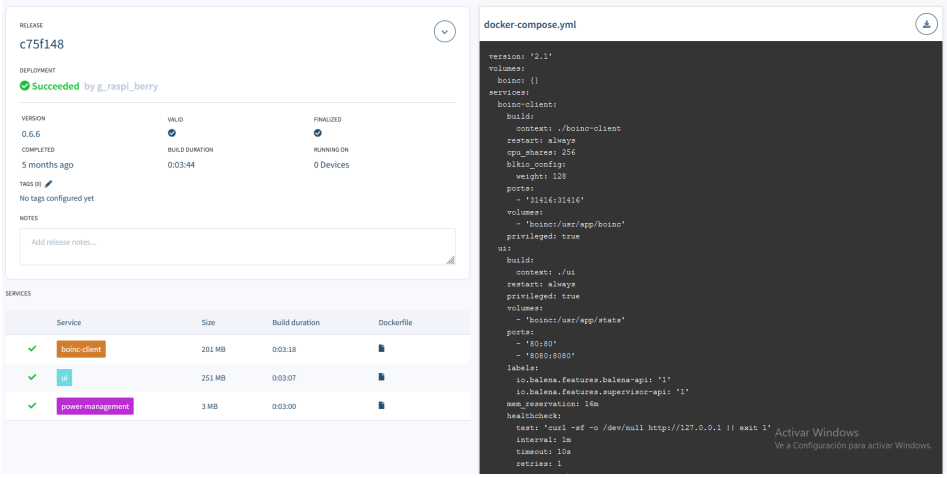


Fig. 3.66.: Captura d'una prova feta amb Balena. Font pròpia

Temboo Aquest programa ens el van recomanar, però no l'hem pogut utilitzar perquè, simplement, és incompatible amb la Raspberry Pi.

Pubnub Aquest programa ens permet desenvolupar una prova de concepte amb alguns límits de funcionalitat i provar el nostre codi amb fins a 200 MAUs. Mentres que la opció de pagament (3.67) més barata ("Versió Starter") és massa cara ($49/mes) per nosaltres.

Fig. 3.67.: Captura de les possibles subscripcions del programa Pubnub. Font pròpia

A més, presenta una difícil connexió entre la Raspberry Pi i la pàgina.

Freeboard En aquest cas, només ens donen 30 dies de prova gratuïta. Per tant, ens veiem obligats a pagar la versió (3.68) de pagament més barata ("Versió Micro"), que ens costaria $12/mes. Aquesta versió presenta dades, dispositius, ginys i taulers de control il.limitats. També ens ofereix cinc taulers privats. No obstant, no ens va acabar d'agradar la idea que presentava.

HiveMQ Aquest programa (3.69) és un dels que vam provar i experimentar més, degut a l'alta quantitat d'informació i tutorials a Internet. La versió que vam utilitzar (la gratuïta) tenia certes limitacions, com 100 sessions de client MQTT, 10 GB de trànsit de dades, tres dies de retenció de dades i 5 MB com la mida màxima del missatge.

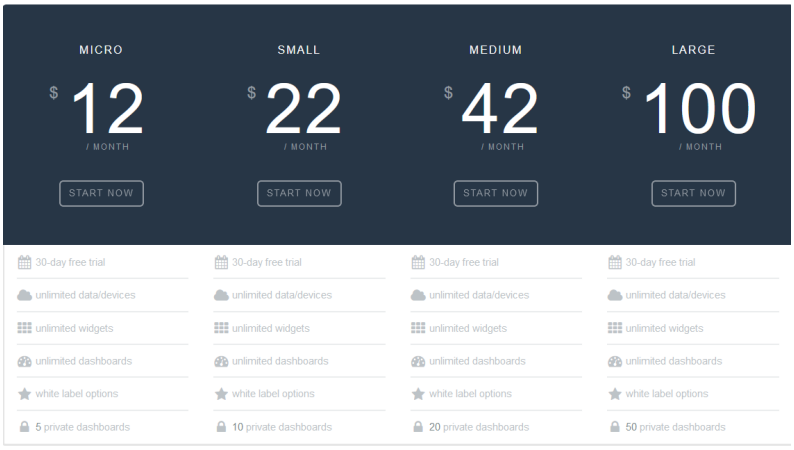


Fig. 3.68.: Captura de les possibles subscripcions del programa Freeboard. Font pròpia

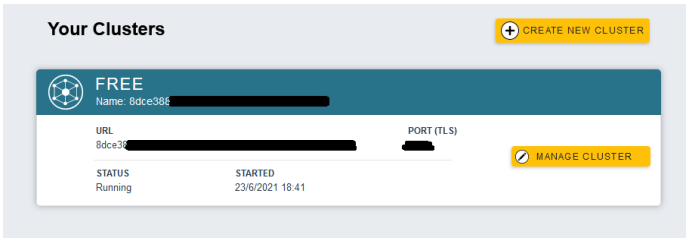


Fig. 3.69.: Captura d'una prova feta amb HiveMQ. Font pròpia

No obstant, degut a la difícil connexió entre la Raspberry Pi i el programari, la difícil interpretació de dades, l'alta complexitat del programa en general i l'haver de contactar per conèixer preus i límits, vam decidir no usar HiveMQ.

Sense programari (Google Sheets) També vam provar de programar directament amb el GoogleSheets i, encara que obteniem les dades en temps real, la representació gràfica de les dades en directe era impossible. Això és degut a que el codi Python que executem envia les noves dades al GoogleSheets, però aquest crea noves cel.les en comptes de sobreescriure-les, causant així un error en l'actualització de les dades en el gràfic, ja que no entren noves dades al seu "rang de valors". De manera que, finalment, vam optar per Integromat.

Integromat L'Integromat presenta una fàcil connexió entre la Raspberry Pi i el programari i un fàcil reconeixement de les variables. No obstant, la seva versió gratuïta no és perfecte, i presenta algunes limitacions. Només ens dona dret a fer 1000 operacions per mes i fica el màxim de transferència de dades a 100 MB. A més, hi ha un interval mínim de 15 minuts per a la recollida de dades, a no ser que

aquesta no es programi des del programa, sinò des del codi Python directament, el qual les envia al moment.

	FREE	BASIC	STANDARD	BUSINESS	PLATINUM
Operations	1,000 / month	10,000 / month	40,000 / month	150,000 / month	800,000 / month
Data transfer	100 MB / month	1 GB / month	20 GB / month	70 GB / month	220 GB / month
Minimum interval	15 minutes	5 minutes	1 minute	1 minute	1 minute
Maximum number of active scenarios	2	Unlimited	Unlimited	Unlimited	Unlimited
Scenario execution timeout	5 minutes	10 minutes	20 minutes	30 minutes	40 minutes
Internal data storage	1 MB	10 MB	40 MB	150 MB	500 MB
Max number of data stores	1	3	10	20	40
Max size of a single file	5 MB	30 MB	40 MB	50 MB	75 MB
Webhook queue size	10	100	1,000	10,000	10,000
Incomplete executions store	1 MB	10 MB	40 MB	150 MB	500 MB
Price per 10,000 extra operations or 10 GB of data transfer (Add-on)	n/a	$9	$8	$7	$5
Unlimited number of scenarios	✓	✓	✓	✓	✓
Access to all premium apps		✓	✓	✓	✓
Unlimited number of modules in a scenario	✓	✓	✓	✓	✓
Customer support	Limited	Limited	✓	Priority	Priority
Cooperation of multiple users		✓	✓	✓	✓
Advanced scheduling		✓	✓	✓	✓

Fig. 3.70.: Captura de les possibles subscripcions del programa Integromat. Font pròpia

Bàsicament, utilitzem Integromat perquè els altres programes tenen un nivell de dificultat superior per fer la connexió entre la Raspberry Pi i GoogleSheets o simplement, perquè el programa té la seva pròpia interfície i representa els resultats de manera massa simple o erròniament, a diferència de en el GoogleSheets.

3.8 Construcció de l'estació (28/12/2021)

Per acabar, ens agradaria tractar el projecte de futur que tenim: ens agradaria deixar la nostra estació meteorològica al nostre institut, per tal de que el nostre projecte compleixi el seu objectiu durant temps, i que tant professors com alumnes puguin consultar la situació meteorològica i de qualitat de l'aire de l'institut en qualsevol moment.

Per això, hem construït un prototip de protecció (3.71) per a l'estació, el qual vam utilitzar per a la recopilació de dades tractada ens els apartats anteriors.

Fig. 3.71.: Prototip de caixa protectora. Font pròpia

No obstant, per deixar permanentment l'estació a l'exterior hem de tenir en compte les condicions que necessita la Raspberry Pi. Per saber-ho, hem consultat diversos fòrums sobre el tema, aprenent de les experiències de persones que ja han fet treballar els seus microcontroladors 24/7, al igual que articles sobre la protecció necessària de l'aparell si el deixem a l'aire lliure, com és el cas. Seguidament, expliquem els punts a considerar per deixar la Raspberry Pi a l'exterior permanentment.

En general, hem observat que la majoria d'usuaris que han usat aquest microcontrolador per llargs períodes de temps no han tingut grans problemes. Defenen que, encara que la Raspberry Pi està dissenyada principalment com un dispositiu d'aprenentatge, és bastant estable per estar funcionant durant mesos. És probable que ens trobem amb algun problema, sobretot amb la font d'alimentació: no té la capacitat de passar per petites fallades d'energia, pel que es reinicia al menor parpelleig. No obstant, només s'ha d'estar alerta per reiniciar el microcontrolador en aquests casos.

A més, és important saber que, al igual que la majoria d'aparells electrònics, el sol, l'aigua i la sorra són problemes per al microcontrolador. Per tant, l'hem de protegir:

Els granets de sorra poden afectar els diferents ports de la Raspberry Pi, entre d'altres. Per evitar aquesta situació, cal mantenir els equips dins de fundes o amb carcasses, com hem fet amb el prototip.

Hem d'evitar la llum solar directa. Tots els dispositius electrònics poden patir danys irreparables si estan exposats de manera directa als raigs solars. En aquest sentit, no només es reescalfen, arruïnant els seus components, sinó que es poden deformar. A més, no afavoreixen a la recollida de dades meteorològiques (en el nostre cas), ja que, per exemple, la temperatura es veuria afectada, augmentant massa i alterant les dades. Per això, convé col.locar-los a l'ombra.

4 Discussió

> *The goal is to turn data into information, and information into insight.*
>
> — **Carly Fiorina**
> (ex CEO of Hewlett-Packard)

En aquest apartat, discutirem els resultats de l'apartat anterior (3) junt amb la informació sobre la contaminació de Martorell, obtinguda dels informes anuals de la qualitat de l'aire a Catalunya , i les conseqüències produïdes per la contaminació, extretes de diferents articles, tots esmentats en la Bibliografia (5.1).

4.1 Comparació dels resultats obtinguts per la Raspberry Pi i els extrets de webs de la Generalitat (29/01/2022)

Abans de mostrar les interpretacions dels nostres resultats a partir d'informació extreta d'articles i altres, és important entendre les diferències entre els resultats que obtenim amb la Raspberry Pi, i representem amb *Integromat* i *MIT App Inventor*; i els obtinguts a partir de les webs de la Generalitat de Catalunya, i representats amb RStudio.

Com observem en els diversos gràfics de RStudio, i que em comentat durant tot el document, les bases de dades de la Generalitat presenten importants buits durant grans períodes de temps. A més, la pandèmia no va afavorir a la recollida de dades, ja que va dificultar la reparació d'aquelles estacions que s'espatllaven. Degut a això, els buits que podrien ser només de dies, es converteixen en mesos.

No obstant, nosaltres també hem tingut problemes amb la nostra recollida de dades, ja que l'estació ha patit petits errors que han afectat als resultats obtinguts. Malgrat això, aquests problemes els podem solucionar ràpidament i corregir la recollida de dades, per a que funcioni de nou.

Per tant, podem observar que complir l'objectiu de dependre d'una recollida de dades segura i sense buits ha resultat complicada degut a aquests errors que, al igual que l'equip encarregat de les estacions XVPCA, hem hagut de solucionar per evitar que els resultats es veiessin molt afectats.

4.2 Informes anuals de Catalunya (15/01/2022)

Cada any, la Generalitat de Catalunya penja uns "Informes anuals" sobre la qualitat de l'aire en la seva web d'accés públic. Per això, i observat la manca de dades de les seves bases de dades, ens hem dedicat a fer una petita recerca d'aquests informes, els problemes que hem observat, i com es poden millorar.

Encara que l'informe es publica cada any, una mitjana anual resulta insuficient per a que el públic del document pugui extreure les seves conclusions. No obstant, s'entén l'ús d'aquestes mitjanes en els diferents gràfics que es presenten.

Com hem dit en l'anterior apartat, nosaltres també hem tingut problemes amb les dades, ja que l'estació ha patit petits errors. Malgrat això, aquestes dades esdevenen de major ús per a nosaltres, ja que el marge de temps és molt més petit. La Generalitat ens proporciona mitjanes anuals, mentre que nosaltres proporcionem dades cada 15 minuts. Això no resulta pràctic per analitzar la contaminació durant l'any, però per a nosaltres sí, ja que el nostre prototip d'estació només ha estat llegint dades durant uns pocs dies. No obstant, si parlem de dades anuals, és igualment preferible mostrar al públic dades de, com a mínim, cada mes.

De la mateixa manera, tots els gràfics posteriors al 2016 són molt poc entenedors. Això és fàcilment observable, ja que, per exemple, al 2016 es presenten gràfics molt variats (4.1), amb mapes i altres; mentre que al 2020, per exemple, trobem gràfics molt simples de poca qualitat, tenint en compte que només es tracten mitjanes anuals i que hi ha grans quantitats de texts i poca informació visual.

No obstant, les informacions escrites no deixen de ser importants. Ens trobem amb explicacions sobre els límits dels diferents contaminants i les seves conseqüències, tot resumit en bons quadres d'informació. Però, per altra banda, manquen d'informació visualment interessant. El ciutadà entén molt millor la situació de la seva zona o de Catalunya en general si ho pot observar en un gràfic entenedor. Per això, és important utilitzar recursos de qualitat per presentar dades de qualitat, com el llenguatge R.

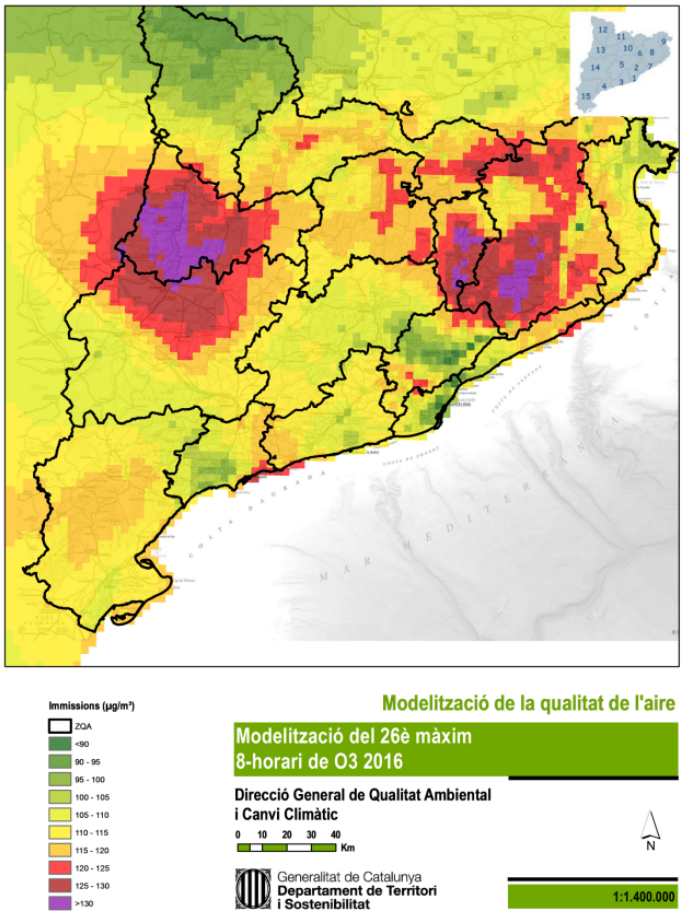


Fig. 4.1.: Mapa de Catalunya segons les immissions d'O3. Font: [22]

En la figura 4.2 podem observar un gràfic comparatiu entre les mitjanes anuals de 2019 i 2020 de NO2 de les diferents poblacions. El gràfic mostra només mitjanes, resumint tota la informació recollida per les diverses estacions. Per altra banda, mostrem un "Calendar Plot" (3.10) de NO2 fet per nosaltres amb RStudio i les dades de Martorell publicades en la web de la Generalitat. Podem veure la quantitat de dades que obviem en el primer gràfic, on Martorell només és una mitjana, mentre que en el segon gràfic, encara que s'observen alguns buits de dies, podem extreure conclusions sobre els mesos amb major contaminació, estudiant el que pot haver passat durant aquests.

Per tant, podem afirmar la gran importància de com representem gràficament les nostres dades. Ja que amb l'anterior comparació, hem vist com, de les mateixes dades (dels mesuraments de l'XVPCA), podem entendre molt la situació de la nostra zona, només utilitzant nous recursos, com R.

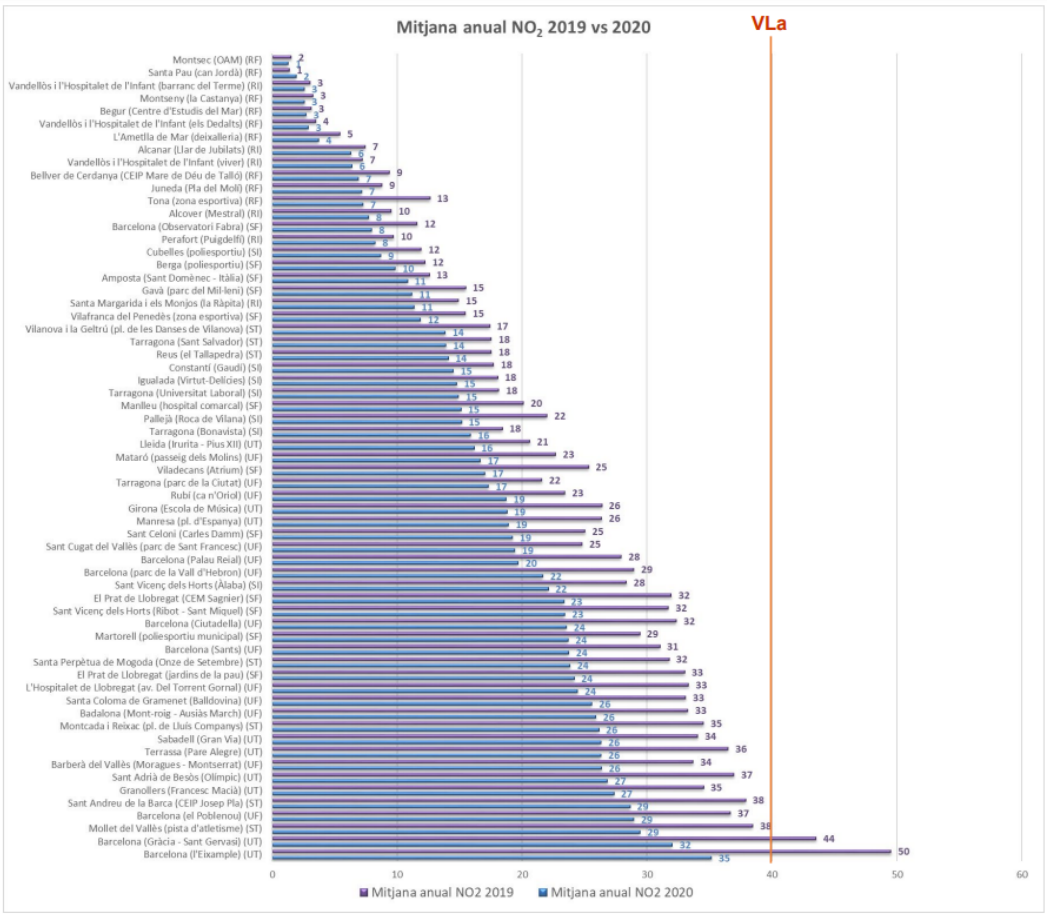


Fig. 4.2.: Gràfic comparatiu de les mitjanes anuals de NO2. Font: [23]

Encara que nosaltres només hem utilitzat uns pocs gràfics amb RStudio, existeixen moltes variants i ben diferents, les quals s'adapten a les dades que volem mostrar i el missatge que volem transmetre. Amb el paquet *Openair* [25] (usat per nosaltres), els informes podrien mostrar les dades d'una forma molt més entenedora i interessant per al públic.

Annexes

Per altra banda, els documents del 2016 cap endavant divideixen les seves informacions en els documents principals (amb els gràfics) i en annexes, on es mostren les taules de les diferents mitjanes anuals segons el contaminant i la població. En cada taula de contaminants, es mostren els límits del contaminant, al igual que les vegades que alguna població l'ha superat. I, evidentment, els límits de les vegades que es pot superar el límit a l'any. A continuació, mostrem la figura 4.3 per a una més fàcil compressió.

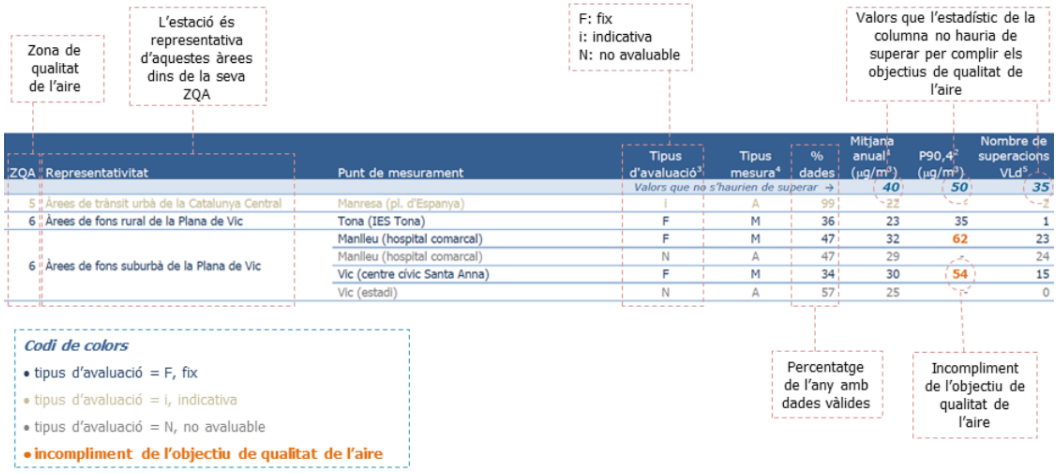


Fig. 4.3.: Taula d'exemple on es mostren les diferents parts a consultar. Font: [24]

Si ens centrem en Martorell, més concretament en els mesuraments fixos (F)[1] dels contaminants, observem el següent.

En la taula corresponent al contaminant NO2 (4.4), les dades vàlides són d'un 99%, del que s'entén que són dades fiables. No obstant, en la figura **??** mostrem com no és així. Sobretot en els mesos d'octubre i novembre les dades són molt escasses, al igual que desembre, el qual no presenta cap dada. És correcte la mitjana anual de l'annex, al igual que les vegades que el límit és superat. Malgrat això, podem veure la quantitat d'informació que és perd en les taules. En el "Calendar Plot" entenem com s'obté la mitjana. Ja que som capaços d'observar com, per exemple, durant els mesos d'abril, maig i juny els valors de NO2 decreixen notablement, mentre que durant gener, febrer i principis de març la incidència és bastant alta.

2	Àrees de fons suburbà del Vallès-Baix Llobregat	Martorell (poliesportiu municipal)	F	99	24	0	0

Fig. 4.4.: Tros de taula corresponent al valor d'NO2 al 2020 a Martorell. Font: [24]

Per altra banda, les dades de Martorell sobre PM10 (4.5) no aporten res interessant a l'usuari. Això és degut a que són mesuraments indicatius (i)[2] i mesuraments no considerats per a l'avaluació (N)[3]. És fàcilment observable com no podem extreure comentaris d'aquestes dades, ja que els percentatges de l'any amb dades vàlides no superen el 50% (són de 45% i 12%). De la mateixa manera, això ja ho vam poder observar a l'hora d'extreure gràfics amb les dades de la Generalitat. En la figura

[1] els mesuraments fixos (F) són els que s'utilitzen quantitativament per a l'avaluació perquè són mesuraments fets in situ i compleixen els requisits de qualitat de les dades que demana la normativa (OQA)

[2] al contrari que els fixos, els mesuraments indicatius són els que s'utilitzen de manera qualitativa perquè, tot i realitzar-se in situ, compleixen requisits inferiors de qualitat de les dades

[3] els mesuraments no considerats per a l'avaluació no es tenen en consideració per a l'avaluació de la qualitat de l'aire perquè no compleixen els criteris mínims exigits de qualitat de les dades.

3.9, de la secció de *Resultats* (3), ja veiem l'alta absència de dades durant els mesos, afirmant el percentatge de la taula, ja que es mostren només sis mesos, dels quals no tots estan complerts.

		Martorell (poliesportiu municipal)	i	A	45	20	28	2
2	Àrees de fons suburbà del Vallès-Baix Llobregat	Martorell (poliesportiu municipal)	N	M	12	20	32	0

Fig. 4.5.: Tros de taula corresponent al valor de PM10 al 2020 a Martorell. Font: [24]

Per últim, també disposem d'una lectura d'H2S a Martorell (4.6). Encara que presenta un 93% de dades vàlides, aquestes no són suficients per representar totalment les *Àrees de fons suburbanes del Vallès-Baix Llobregat*. Aquest mateix factor també es troba en el cas de l'NO2, on Martorell representa totes les àrees anteriorment esmentades. Degut a això, no és possible representar les dades en mapes, ja que la contaminació d'una població no és la mateixa que la de totes amb àrees similars. Per això, l'augment del nombre d'estacions en diferents localitzacions afavoriria els resultats extrets i, per tant, la interpretació d'aquests.

2	Àrees de fons suburbanes del Vallès-Baix Llobregat	Martorell (poliesportiu municipal)	F	93	2	0	0

Fig. 4.6.: Tros de taula corresponent al valor d'H2S al 2020 a Martorell. Font: [24]

No obstant, el punt més important a tractar és la ubicació de l'estació dins la població. És necessària la descripció de la ubicació o, directament, coordenades exactes d'on es troba. Això és degut a que, dins de la mateixa població, no tots els possibles emplaçaments per a l'estació presenten les mateixes característiques referents a la contaminació. Dins de Martorell, existeixen grans quantitats "d'espais verds" on, encara que hi ha un mínim de contaminació, no presenta els mateixos valors que una estació posicionada junt a un carrer molt transitat. És per això que proporcionar la ubicació de l'estació ens pot ajudar a entendre els gràfics extrets de les diferents dades.

4.3 Conseqüències de la contaminació atmosfèrica (17/01/2022)

Abans d'interpretar les dades, creiem necessari mostrar el perquè de la importància de conèixer la contaminació de la nostra zona o població. Per això, seguidament expliquem les conseqüències que té la contaminació en la salut humana.

Els efectes de la contaminació atmosfèrica en la salut es produeixen a nivells d'exposició que actualment experimenten moltes persones tant en zones urbanes com rurals i en països desenvolupats i en vies de desenvolupament.

Hi ha una relació directa entre l'exposició a altes concentracions de partícules PM10 i PM2.5 i l'augment de la mortalitat o la morbiditat, tant diàriament com al llarg del temps. De la mateixa manera, la reducció d'aquest tipus de partícules produeix la disminució d'aquesta mortalitat.

La contaminació per aquestes partícules té efectes sobre la salut fins i tot en concentracions molt baixes; de fet, no s'ha identificat cap nivell per sota del qual no s'observi cap dany per a la salut. Per tant, els límits de les directrius mundials de l'OMS tenen com a objectiu assolir les concentracions més baixes possibles de PM (4.4).

Als països menys desenvolupats, l'exposició als contaminants dins de les llars per la combustió de combustibles en focs o estufes tradicionals per cuinar, escalfar i il.luminar augmenta encara més el risc de malalties relacionades amb la contaminació atmosfèrica, com les infeccions agudes de les vies respiratòries inferiors, les malalties cardiovasculars, la malaltia pulmonar obstructiva crònica i el càncer de pulmó.

L'exposició a les partícules, però també a l'ozó (O3), al diòxid de nitrogen (NO2) i al diòxid de sofre (SO2), comporta greus riscos per a la salut. Com passa amb les PM, les concentracions solen ser més elevades sobretot en les zones urbanes dels països menys desenvolupats. L'ozó és un factor important en la morbiditat i mortalitat per asma, mentre que el diòxid de nitrogen i el diòxid de sofre també poden tenir un paper a l'asma, els símptomes bronquials, la inflamació pulmonar i la reducció de la funció pulmonar [27].

A més, es calcula que la contaminació de l'aire exterior, tant a les ciutats com a les zones rurals, va causar 4,2 milions de morts prematures mundials al 2016. Com hem dit abans, les persones que viuen a països menys desenvolupats són les més desfavorides, ja que el 91% de les morts prematures anteriorment mencionades es produeixen a països d'aquest tipus, i el percentatge més gran es registra a les regions de l'Àsia Sud-oriental i al Pacífic Occidental.

L'OMS estima que el 2016, al voltant del 58% de les morts prematures relacionades amb la contaminació de l'aire exterior es van deure a cardiopaties isquèmiques i accidents cerebrovasculars, mentre que el 18% de les morts es van deure a la malaltia pulmonar obstructiva crònica i a les infeccions agudes de les vies respiratòries inferiors, respectivament, i el 6% de les morts es van deure al càncer de pulmó.

Una avaluació realitzada el 2013 pel Centre Internacional d'Investigacions sobre el Càncer (CIIC) de l'OMS va arribar a la conclusió que la contaminació atmosfèrica és

cancerígena per als éssers humans, i que el gran nombre de partícules de contaminació és el que està més estretament relacionat amb l'augment de la incidència del càncer, especialment el de pulmó. A més, també van observar una associació entre la contaminació i l'augment del càncer de vies urinàries i bufeta.

Si parlem de cada contaminant en específic podem dir que l'excés d'ozó (O3) a l'aire pot provocar problemes respiratoris, desencadenar asma, reduir la funció pulmonar i causar malalties pulmonars. Pel que fa l'NO2, estudis epidemiològics han demostrat que els símptomes de bronquitis als nens asmàtics augmenten en associació amb l'exposició a llarg termini a l'NO2. El creixement reduït de la funció pulmonar també està relacionat amb l'NO2 a les concentracions mesurades a ciutats d'Europa i Amèrica del Nord. I l'SO2 pot afectar el sistema respiratori i les funcions dels pulmons, a més provoca irritació als ulls. La inflamació de les vies respiratòries provoca tos, secreció de mucositat, agreujament de l'asma i de la bronquitis crònica i fa les persones més propenses a les infeccions de les vies respiratòries. Els ingressos hospitalaris per malalties cardíaques i la mortalitat augmenten amb nivells més alts de SO2.

Per altra banda, utilitzant dades del 2015 sobre la contaminació de l'aire i morts en algunes ciutats, investigadors han estimat l'impacte en la salut de la reducció dels nivells de partícules de PM2.5 i NO2 per complir els objectius de l'OMS sobre la qualitat de l'aire (4.4). El compliment dels objectius de l'OMS evitaria unes 51.213 morts prematures per a l'exposició a partícules de PM2.5 i 900 morts prematures per exposició al NO2 cada any. Assolir nivells encara més baixos (3,7 $\mu g/m^3$ per a PM2.5 i 3,5 $\mu g/m^3$ per a NO2) evitaria unes 124 729 morts prematures per exposició a PM2.5 i 79 435 morts prematures per exposició a NO2 [26].

Altres estudis indiquen que un home de 70 anys no fumador exposat a una concentració mitjana de 15 $\mu g/m^3$ tindria una probabilitat acumulada de malaltia cardíaca estimada en 0,14. Si estigués exposat a només $\mu g/m^3$, tindria una probabilitat acumulada estimada de malaltia cardíaca de 0,13. Per tant, cada $\mu g/m^3$ d'exposició a aquests nivells augmenta la probabilitat condicional de malaltia pulmonar en aproximadament 0,01 [29].

L'estudi de "The Global Burden of Disease" (GBD) va estimar que la contaminació va ser responsable de 9 milions de morts a tot el món el 2019, el 61,9% de les quals a causa de malalties cardiovasculars, incloses les cardiopaties isquèmiques (31,7%) i els accidents cerebrovasculars (27.7%). La funció original integrada d'exposició de resposta utilitzada a l'estudi del GBD al 2013 va estimar que les concentracions de PM2,5 procedents d'una varietat de fonts, inclòs el tabaquisme, va concloure que el risc està determinat pel total de PM2,5 inhalat independentment de la font.

A l'estudi del GBD al 2019, la inclusió de noves dades d'estudis addicionals van permetre un nou càlcul, amb estimacions més precises. La relació exposició-resposta que hi ha entre la contaminació de l'aire i les malalties cardiovasculars ara s'entén que s'estén fins a l'exposició a nivells molt per sota de l'actual estàndard de PM2,5 d'Ambient Nacional dels Estats Units (U.S. National Ambient Air Quality Standards) [33].

Les característiques seleccionades de 17 estudis retinguts a l'anàlisi es presenten a la figura 4.7. La població total inclosa en aquestes cohorts d'individus, que van aportar més de 274 milions d'observacions de persones per any. Tretze estudis van considerar el càncer de pulmó, mentre que quatre van mesurar la incidència de càncer de pulmó. Onze estudis van avaluar només l'exposició a PM 2,5, només dos a l'exposició a PM10 i cinc a l'exposició de tots dos junts. La majoria dels estudis van avaluar el risc de càncer de pulmó per a un augment de 10 $\mu g/m^3$ PM2,5 o PM10, mentre que un estudi va mesurar el risc per a un augment de 3, 3,2, 5 o 7 $\mu g/m^3$. Dotze estudis van ser qualificats com a "bons" i quatre estudis "regular" [34].

Table 1
Selected characteristics of studies included in the meta-analysis.

Reference	Country	% men	Study period	Cohort size	Person years	Source of data on exposure	Out-come	Source of outcome data	Exposure	Age group	Quality score
Laden et al. (2006)‡	USA	45	1977–1998	8096	158978	Centrally located air-monitoring stations	Mor	NDI	PM 2.5	2	G
Beelen et al., (2008)	Netherlands	48	1986–1997	111816	1053330	National Air quality monitoring network	Inc	National registries	PM 2.5	2	F
Lipsett et al. (2011)	USA	0	1995–2005	124614	1370754	Models based on air monitoring stations	Mor	Active follow-up	PM 2.5; PM 10	NA	G
Katanoda et al. (2011)	Japan	47	1985–1995	63520	550338	Ambient air monitoring stations	Mor	Local registries	PM 2.5	2	G
Cao et al. (2011)	China	51	1991–2000	70947	638523	National monitoring data	Mor	Active follow-up	PM 2.5	2	G
Pope et al. (2011)	USA	39	1982–1988	794784	4768704	EPA Air Quality System	Mor	Active follow-up	PM 2.5	2	G
Lepeule et al. (2012)‡	USA	45	1977–2009	8096	212067	Centrally located air monitoring stations	Mor	NDI	PM 2.5	NA	G
Carey et al. (2013)	UK	NA	2003–2007	836557	4154210	Air dispersion models	Mor	National database	PM 2.5; PM 10	NA	F
Heinrich et al. (2013)	Germany	0	1985–2008	4752	109296	Air monitoring stations	Mor	State registries	PM 10	NA	G
Puett et al. (2014)	USA	0	1994–2010	103650	1510027	GIS-based models	Inc	Active follow-up	PM 2.5; PM 10	3	G
Fischer et al. (2015)	Netherlands	48	2004–2011	7218363	50528541	Air monitoring network	Mor	National registries	PM 10	NA	F
Raaschou-Nielsen et al., 2015[a]	9 European countries	NA	NA	245782	3229220	Models based on air monitoring stations	Inc	National registries	PM 2.5; PM 10	NA	NA
Wong et al. (2016)	Hong Kong	NA	1998–2011	60273	620812	Environmental Protection Department	Mor	National registries	PM2.5	3	G
Chen et al. (2016)	China	NA	1998–2009	39054	468648	Local air monitoring centres	Mor	Next to kin	PM 2.5	1	G
Pun et al. (2017)	USA	NA	2000–2008	18937461	170437149	EPA Air Quality System	Mor	Medicare	PM 2.5	3	G
Weichenthal et al. (2017)	Canada	55	2001–2012	1039128	12116232	Satellite observations	Inc	National registries	PM 2.5	2	F
Yin et al. (2017)	China	100	1996–2006	189793	3226481	Satellite-based models and ground measurements	Mor	National registries	PM 2.5	2	G
Pope et al. (2019)	USA	45	1986–2016	635539	19066170	Regulatory monitoring data	Mor	NDI	PM 2.5	1	G

Mor, mortality; Inc, incidence; NDI, National Death Index; NA, not available.
[a] Pooled analysis of 14 cohorts.

Fig. 4.7.: Característiques seleccionades dels estudis inclosos al metaanàlisi. Font: [34]

Per al càncer de mama, la incidència i la mortalitat associades amb PM2,5 van ser d'1,03 (95% d'IC, 0,931,13) i d'1,18 (95% d'IC, 0,811,73) per augment de 10 mg/m^3. Per a PM10, la incidència de càncer de mama va ser d'1,05 (95% CI, 0,931,19) per increment de 10 mg/m^3 [35].

Es van associar increments de 10 μg per metre cúbic en PM2,5 i de 10 ppb en ozó. Va augmentar la mortalitat per totes les causes del 7,3% (interval de confiança [IC] del 95%), 7,1 a 7,5) i 1,1% (IC del 95%, 1,0 a 1,2), respectivament. Quan l'anàlisi es va limitar a persones amb exposició a PM2,5 inferior a 12 μg per metre cúbic i ozó de menys de 50 ppb, els mateixos augments de PM2,5 i ozó van ser associats amb augments del risc de mort del 13,6% (IC del 95%, 13,1 a 14,1) i 1,0% (IC del 95%, 0,9 a 1,1), respectivament. Per PM2,5, el risc de mort entre els homes, negres i les persones amb elegibilitat per a Medicaid era més alta que la resta de la població [31].

De mitjana, un augment de 10 μg per metre cúbic en la mitjana mòbil de 2 dies de concentració de PM10, que representa la mitjana del dia actual i anterior, es va produir un augment del 0,44% (interval de confiança [IC] del 95%, 0,39 a 0,50) en totes les causes diàries de mortalitat, 0,36% (IC 95%, 0,30 a 0,43) en mortalitat cardiovascular diària, i 0,47% (95% CI, 0,35 a 0,58) de mortalitat per causes respiratòries. El mateix canvi en la concentració de PM2,5 va ser del 0,68% (IC del 95%, 0,59 a 0,77), 0,55% (IC 95%, 0,45 a 0,66) i 0,74% (IC 95%, 0,53 a 0,95). Aquestes associacions es van mantenir significativament després de l'ajust per als contaminants gasosos. Les associacions eren més fortes a les localitats amb concentracions mitjanes anuals més baixes de PM i temperatures mitjanes anuals més altes. Les corbes de concentració-resposta agrupades van mostrar un augment constant de la mortalitat diària amb concentració de PM en augment, amb pendents més pronunciades en concentracions de PM més baixes [32].

El meta anàlisi global va demostrar que el risc de HDP ("Hypertensive Disorders in Pregnancy") es va associar significativament amb l'exposició a PM2,5 (per 5 mg/m3 més gran) i PM10 (per 5 mg/m3 superior). Els resultats també van mostrar que els nivells d'exposició més alts de PM2,5 van augmentar amb la incidència de GH. L'exposició a PM10 (per 5 mg/m3 superior) també va augmentar amb el GH [36].

La relació estadística entre la concentració de PM2,5 i la prevalença d'al.lèrgia infantil rhinitis (OR PM2,5 = 1,089, IC 95%: 1,010-1,174, p = 0,027), aquesta exposició a PM2,5 associada amb l'AR infantil era estadísticament significativa [37].

Els dos tipus d'exposició a partícules amb un diàmetre de menys de 2,5 μm (PM 2,5) desenvolupen diferents relacions socio-demogràfiques: la contaminació de l'aire de les llars està fortament relacionada amb l'IDS (índex socio-demogràfic) i tendeix a disminuir constantment amb el desenvolupament socio-demogràfic. En canvi, la contaminació tendeix a augmentar amb la industrialització i després disminueix amb la gestió de la qualitat de l'aire a nivells superiors de IDS. Els estudis han demostrat

que per a la contaminació ambiental per partícules (ambient PM2.5), les principals fonts d'exposició són l'ús d'energia residencial, industrial i la generació d'energia. La concentració de la càrrega de PM 2.5 al sud d'Àsia destaca amb l'absència d'accions polítiques nacionals i pot tenir un gran efecte. Entre els grans factors de risc en què es troba l'exposició creixent, la contaminació ambiental per partícules es manté fora perquè l'exposició està disminuint als països amb l'IDS més alt. Igual que el tabac i el plom, la regulació pot tenir efectes profunds sobre l'exposició i els efectes sobre la salut de la contaminació ambiental per partícules i no requereix d'acció individual. Hi ha un paper clar per a les organitzacions globals per a fomentar el canvi normatiu per a països d'IDS amb una exposició gran i creixent de contaminació ambiental per partícules [28].

Les mesures obtingudes a llarg termini de PM 2,5 per a tots els membres de la cohort en funció de les adreces de codi postal entre 1991 (cinc anys abans del primer cens) i 2016 (final del seguiment). Es va fer utilitzant observacions via satèl.lit de PM 2,5 en combinació amb els resultats de GEOS-Chem CTM. Les estimacions es van calibrar després amb la informació sobre la cobertura del sòl, l'elevació i la composició d'aerosols utilitzant regressió ponderada geogràficament, produint una concentració mitjana anual de PM 2,5 (1x1 km) per cada any entre 1998 i 2016. Aquestes estimacions anuals de PM 2,5 cobreixen tota Amèrica del Nord i d'acord amb les mesures del nivell del sòl a tota la zona ($R^2 = 0,82, n = 1440$). Utilitzant les sortides GEOS-Chem CTM i els mesuraments fixos al sòl de PM2,5, es va realitzar un calibratge anual d'aquestes superfícies anys abans d'aquest període, creant així un mesurament anual de superfícies d'exposició de PM2,5 per a cada any entre 1991 i 2016 [30].

4.4 WHO Global Air Quality Guidelines (04/02/2022)

Després d'haver mostrat com la contaminació afecta greument a la nostra salut (i contribueix al canvi climàtic), l'OMS (en anglès, WHO) s'ha vist obligada a establir nous límits (octubre de 2021) per aquests contaminants. És per això que, en aquest apartat, mostrarem els límits dels contaminats rellevants, per a posteriorment, fer la interpretació dels nostres resultats d'acord amb el que no es pot superar.

Així, des de l'última actualització mundial de l'OMS al 2005, s'ha provat en diferents ocasions la relació directa entre la salut i la contaminació atmosfèrica, pel que l'OMS ha ajustat a la baixa pràcticament tots els nivells de la GCA (en anglès, AQGs),

advertint que superar els nous nivells de referència de qualitat de l'aire s'associa a riscos significatius per a la salut.

Les noves directrius de l'OMS recomanen nivells de qualitat de l'aire per a sis contaminants, que són els que més han avançat en els efectes de l'exposició sobre la salut. L'any 2013, l'Agència Internacional de Recerca del Càncer de l'OMS va classificar la contaminació de l'aire exterior i les partícules com a cancerígenes. Les directrius també destaquen bones pràctiques per a la gestió de determinats tipus de partícules per a les quals actualment no hi ha prou evidència quantitativa per establir nivells de referència per a la qualitat de l'aire.

L'objectiu de la guia és que tots els països assoleixin els nivells recomanats de qualitat de l'aire. Conscient que aquesta serà una tasca difícil per a molts països i regions que lluiten amb alts nivells de contaminació de l'aire, l'OMS ha proposat objectius intermedis per facilitar la millora gradual de la qualitat de l'aire i, per tant, els beneficis graduals però significatius, per la salut de la població.

A continuació, mostrem els límits per als diferents contaminants, establerts el passat octubre. Aquests han sigut extrets de la web oficial de l'OMS .

Partícules fines (PM2.5)

- 5 $\mu g/m^3$ mitjana anual
- 15 $\mu g/m^3$ mitjana de 24 hores

Partícules gruixudes (PM10)

- 15 $\mu g/m^3$ mitjana anual
- 45 $\mu g/m^3$ mitjana de 24 hores

A més a més dels valors guia, les Directrius mundials sobre la qualitat de l'aire de l'OMS estableixen objectius provisionals per a les concentracions de PM10 i PM2,5 destinats a promoure un canvi gradual de les concentracions altes a les baixes.

Si s'assoleixen aquests objectius provisionals, cal esperar una reducció significativa dels riscos d'efectes aguts i crònics per a la salut derivats de la contaminació atmosfèrica. Tot i això, l'objectiu final hauria de ser assolir els valors guia.

Ozó (O3)

- 100 $\mu g/m^3$, màxim diari en 8 hores*.
- 60 $\mu g/m^3$ mitjana octohorària, temporada alta**

* Percentil 99, (és a dir, 3-4 dies de superació a l'any)

** La temporada alta es defineix com la mitjana de la concentració màxima diària d'O3 en 8 hores en els sis mesos consecutius amb la concentració més gran d'O3 de sis mesos consecutius

Diòxid de nitrogen (NO2)

- 10 $\mu g/m^3$ mitjana anual
- 25 $\mu g/m^3$ mitjana de 24 hores

Diòxid de sofre (SO2)

- 40 $\mu g/m^3$ mitjana de 24 hores

Actualment, es sap que els efectes sobre la salut estan associats a nivells de SO2 molt més baixos del que es creia. És necessari un major grau de protecció. Encara que la causalitat dels efectes de les baixes concentracions de SO2 encara és incerta, és probable que la reducció de les concentracions de SO2 disminueixi l'exposició als "co-contaminants".

4.5 Interpretació dels resultats (06/02/2022)

En aquest apartat, estudiem si algun contaminant, de les dues font de dades de les que disposem, ha superat els límits establerts per la Unió Europea (mostrats en la figura A.10) o per l'OMS (mostrats en l'apartat 4.4 i en la figura A.9). A més, hem elaborat una taula comparativa entre els límits establerts per l'OMS i la UE (A.8). Per altra banda, també hem buscat les possibles causes als resultats obtinguts.

Resultats extrets de webs de la Generalitat

Si tractem les dades de la Generalitat, representades amb RStudio, podem observar el següent. De la mateixa manera, comentar que la majoria de contaminants no presenten dades vàlides en l'any 2020, així que no els esmentem.

En el cas del contaminant NO2, obtenim una mitjana anual al 2020 d'aproximadament 24 $\mu g/m^3$. Pel que no es supera el límit anual establert per la Unió Europea (40 $\mu g/m^3$) ni el de l'OMS (també a 40 $\mu g/m^3$). A més, coneixem el perquè d'aquest baix valor. Des de finals de març veiem com decreix l'NO2 a Martorell, factor fàcilment observable en la figura 3.10. Això és degut a que durant aquests mesos, gran part de la població espanyola va estar confinada a casa seva, a causa de la pandèmia mundial de la COVID-19. Tenint en compte que l'NO2 és un contaminant associat al tràfic, i que durant aquests mesos el tràfic va ser mínim, podem entendre la mitjana obtinguda. Al llarg de l'últim any, s'han publicat diversos articles sobre el tema, esmentant que la contaminació a Barcelona va caure un 28% durant aquest període.

Amb el contaminant PM10, encara que disposem d'algunes dades durant l'any 2020, no superen el 50% de l'any, sent així insuficients per interpretar-les.

Per altra banda, també podem observar una curiositat en els gràfics de NO2 (Veure figura 3.2) i O3 (Veure figura 3.3). Sabem que aquests dos contaminants estan units per unes reaccions que anomenem reaccions *redox*, reaccions de transferència d'electrons, per tant, sempre que un disminueix, l'altre ascendeix, factor que poder observar sobretot en la part del *weekday* on, durant el cap de setmana lO3 ascendeix i el NO2 disminueix. Això és degut a que, durant el cap de setmana, no hi ha tant moviment de vehicles i, ja que el NO2 és un contaminant que està associat en gran part amb el tràfic, disminueix. Per tant, lO3 ha d'incrementar la seva concentració necessàriament, degut a la seva relació.

De la mateixa manera, també mostrem un gràfic de "Trend Level" dO3 (Veure figura 3.7) i un de NO2 (Veure figura 3.6). En aquest cas observem el mateix que anteriorment: lO3 presenta grans concentracions durant els mesos d'estiu i al migdia, ja que durant aquests períodes les hores de sol són majors que durant la resta de l'any. Per això, observem aquest patró repetitiu durant tots els anys. Degut a això, el NO2 presenta valors contraris als d'O3 durant tots els anys.

També observem un altre efecte curiós en el gràfic de "Trend Level" de SO2 (Veure figura 3.8). Podem veure com, durant els anys 90 i els mesos més freds (gener-febrer-març) les concentracions d'aquest contaminant augmenten significativament. Això és probablement degut a que, durant els anys 90, s'utilitzaven calderes de gasoil que cremaven i emetien grans quantitats de SO2 a l'aire. No obstant, a partir del 2000 observem un decreixement considerable en aquest contaminant, degut a que (com a hipòtesis nostra) es deixen dutilitzar aquestes calderes i es comencen a utilitzar calderes de gas natural, fent decréixer d'aquesta manera tan forta el contaminant SO2.

Resultats obtinguts per la Raspberry Pi

Abans d'interpretar aquests resultats, és important tindre en compte que el prototip d'estació que hem utilitzat per recollir dades pot no concordar amb les dades de la Generalitat. Això és degut a que hem col.locat la Raspebrry Pi en un jardí allunyat del tràfic, pel que algunes dades de contaminació són inferiors a l'esperat durant alguns marges de temps. De la mateixa manera, comentar que només tractem els contaminants PM2.5 i PM10, ja que són els únics que tenen límits establerts per la Unió Europea i l'OMS.

Si tractem les dades recollides per la Raspberry Pi, representades al *GoogleSheets*, podem observar el següent.

La nostra estació ha estat funcionant completament (dades recollides cada 15 minuts), des de dimarts 28 de desembre de 2021 a dimecres 29 de desembre de 2021 i del dimecres 29 de desembre de 2021 a dijous 30 de desembre de 2021. Durant aquest període de temps, les mitjanes diàries de PM2.5 han sigut de 1,64 $\mu g/m^3$ del 28 al 29, i de 7,57 $\mu g/m^3$ del 29 al 30. Les mitjanes diàries de PM10 durant el mateix interval de temps han estat de 1,76 $\mu g/m^3$ del 28 al 29, i de 8,14 $\mu g/m^3$ del 29 al 30.

Si observem els límits diaris que recomana l'OMS, les dades de PM2.5 no arriben a una mitjana diària de 15 $\mu g/m^3$ en cap dels dos dies estudiats, per tant, no s'incompleixen les recomanacions establertes. Pel que fa a la UE només ens recomanen una mitjana anual, per tant, no ens faciliten un límit diari de PM2.5.

D'altra banda, els límits de PM10 tampoc assoleixen un valor diari de 45 $\mu g/m^3$ i, per tant, tampoc incompleixen els límits establerts per l'OMS en cap dels dos dies de recollida. Per part de la UE, encara menys, ja que el seu límit establert és de 50 $\mu g/m^3$.

t-Student

A més, també podem interpretar els resultats obtinguts de la t-Student feta en l'apartat 3.4.1.

Respecte als contaminants de PM, podem observar que durant al nit s'assoleixen unes mitjanes inferiors a les que podem veure durant el dia (són els únics contaminants que presenten diferències estadísticament significatives en els *t-test* de dia i nit). Això és possiblement degut a que per la nit hi ha menys tràfic (els PM estan associats a diferents tipus d'emissions naturals i artificials), pel que s'assoleixen uns valors inferiors als que podem trobar durant el dia, amb gran quantitat de tràfic.

Per altra banda, si parlem dels *t-test* referents a les hores punta i hores vall, els contaminants que presenten diferències estadísticament significatives són únicament aquells recollits pel sensor MICS6814: els oxidants, reductors i NH3. Pel que fa als oxidants i als reductors, podem observar com la mitjana durant les hores punta és més gran que durant les hores vall, això és possiblement degut a que a les hores vall hi ha menys activitat respecte al tràfic que durant les hores punta. Respecte a l'NH3, aquest es produeix de manera natural mitjançant la descomposició de la matèria orgànica, però es produeix a gran escala de manera industrial, per tant, és possiblement degut a que a les hores vall hi ha menys activitat respecte a les emissions industrials que durant les hores punta.

Conclusions

5

1. Hem analitzat les dades horàries [16] de diferents contaminants atmosfèrics des del 1991 fins al 2021 i les hem combinat amb una altra base de dades meteorològiques (direcció del vent) [17] per deduir d'on prové la contaminació. A més, hem estudiat la normativa vigent [4.5] i si els valors observats la compleixen, al igual que representar aquestes dades emprant el llenguatge R [10] amb la biblioteca *Openair* [25]. Analitzant aquestes dades, hem observat que al 2020, els valors d'NO2 no van superar els límits establerts per l'OMS ni els establerts per la UE, degut a la reducció de tràfic durant la pandèmia del COVID-19. A més, analitzant les les dades recollides per nosaltres, hem observat que les mitjanes diàries de PM10 i PM2.5 dels dies 28-29 i 29-30 no han superat els límits establerts per l'OMS ni els de la UE.

2. Hem creat un prototip d'estació basat en el sensor Enviro+ [2] i Raspberry Pi [1], capaç de mesurar en temps real diferents contaminants: reductors, oxidants, amoníac (NH3) i partícules en suspensió menors a 1 (PM1), 2.5 (PM2.5) i 10 (PM10) micròmetres.

3. Hem connectat el prototip anterior amb la nostra pàgina web [21], mitjançant *Python*, *JavaScript*, *HTML*, *CSS* i *GoogleSheets*. De la mateixa manera, hem emprat l'eina online *Integromat* (després d'haver provat diferents opcions (3.7)).

4. Hem connectat el prototip mesurador de contaminació amb una app Android, mitjançant *Python*, *MIT App Inventor*, *GoogleSheets* i *Integromat*. Amb aquesta app [20], som capaços d'observar les dades de contaminació recollides per la Raspberry Pi en qualsevol moment.

5. Hem analitzat les dades obtingudes pel nostre aparell amb *RStudio* i *Openair* [25], i hem emprat t-Student (3.4.1) per buscar diferències estadísticament significatives de la contaminació diürna i nocturna i d'hores punta i hores vall. Utilitzant aquest recurs i les nostres dades, hem observat com els valors dels contaminants de PM (PM1, PM2.5 i PM10) es diferencien significativament del dia a la nit (el dia va de 7h a 19h i la nit, de 19h a 7h.). I els valors dels oxidants, reductors i NH3 es diferencien significativament de les hores punta a les hores vall (les hores punta van de de 7h a 10h i de 18h a 21h i les hores vall, de 10h a 18h). Aquestes diferències

són probablement causades pel contrast d'emissions industrials o de tràfic durant els diferents intervals de temps.

6. Finalment, hem analitzat la literatura científica per veure com els contaminants atmosfèrics poden afectar la salut humana (4.3).

5.1 Reflexions finals (10/02/2022)

Finalment, hem aconseguit els objectius proposats en la Introducció (1.2). Hem construït la nostra pròpia estació (meteorològica i) de contaminació, la qual s'ha encarregat de, amb un prototip, recollir dades de diferents contaminants durant un petit marge de temps. Hem representat aquestes dades de manera entenedora per a un públic general. Al igual que fer possible la interpretació d'aquests resultats, per tal d'entendre el que recollia el microcontrolador. Així, hem mostrat la importància de conèixer la contaminació atmosfèrica de la nostra zona, explicant les conseqüències que té per a la salut no fer-ho.

A més, aquest treball ens ha ajudat a millorar el nostre esperit científic i tecnològic, al igual que la nostra capacitat de resolució de problemes, degut a la gran quantitat d'aquests que han anat apareixent al llarg del treball. De la mateixa manera, aquest projecte ens ha fet millorar en la repartició de tasques com a grup, ja que, degut a la gran quantitat de feina a fer, ens hem vist obligats a organitzar el treball de manera que cadascú pogués treballar en el que es sentís motivat i còmode fent, a la vegada que fos equitatiu en quant a esforç per les dues bandes.

Bibliografia

[1] Raspberry Pi Foundation. *What is a Raspberry Pi?*. https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/

[2] Sandy Macdonald. (2019, Juny 14). *Getting Started with Enviro+*. https://learn.pimoroni.com/article/getting-started-with-enviro-plus

[3] Crilley, L. R., Shaw, M., Pound, R., Kramer, L. J., Price, R., Young, S., ... Pope, F. D. (2018). Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring. Atmospheric Measurement Techniques, 11(2), 709-720.

[4] Liu, H. Y., Schneider, P., Haugen, R., Vogt, M. (2019). Performance assessment of a low-cost PM2. 5 sensor for a near four-month period in Oslo, Norway. Atmosphere, 10(2), 41.

[5] Malings, C., Tanzer, R., Hauryliuk, A., Saha, P. K., Robinson, A. L., Presto, A. A., Subramanian, R. (2020). Fine particle mass monitoring with low-cost sensors: Corrections and long-term performance evaluation. Aerosol Science and Technology, 54(2), 160-174.

[6] Magi, B. I., Cupini, C., Francis, J., Green, M., Hauser, C. (2020). Evaluation of PM2. 5 measured in an urban setting using a low-cost optical particle counter and a Federal Equivalent Method Beta Attenuation Monitor. Aerosol Science and Technology, 54(2), 147-159.

[7] Business Automated!. (2020, Abril 3). *How to send data from Raspberry Pi to Google Sheets using Integromat.* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=JjytGtMsePw&list=WL&index=98&t=294s

[8] Hay Kel. (2020, Agost 6). *App Inventor Google Sheets: Read All data, Delete Record 1* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=EC6ZOYVrdSg&list=PLT4SlpkHKECeeP9MykgdD_ufPdvEpgMXN&index=4

[9] Hay Kel. (2020, Agost 23). *App Inventor Google Sheets: Read one Record 2* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=PvNsyhqLdqY&list=WL&index=49&t=11s

[10] RStudio Team. *RStudio*. https://www.rstudio.com/

[11] Anne Marie Helmenstine. (2019, Novembre 4). *Oxidant Definition in Chemistry*. ThoughtCo. https://www.thoughtco.com/definition-of-oxidant-605455

[12] Dianelys Ondarse Álvarez. (2021, Juliol 15). *Reacciones redox*. CONCEPTO. https://concepto.de/reacciones-redox/

[13] SGX, "The MiCS-6814 is a compact MOS sensor with three fully independent sensing elements on one package."

[14] UK Air Pollution Information System. *Ammonia*. APIS. http://www.apis.ac.uk/overview/pollutants/overview_nh3.htm

[15] Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units. *Particulate Matter (PM) Basics*. EPA. https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics

[16] Generalitat de Catalunya. *Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA)*. https://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/avaluacio/xarxa_de_vigilancia_i_previsio_de_la_contaminacio_atmosferica_xvpca/

[17] Generalitat de Catalunya. *Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA) del Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT)*. https://es.meteocat.gencat.cat/xema

[18] Adrià Cantarero. *R project (Air pollution)*. https://adriacantarero.neocities.org/R/index.html

[19] Raúl Velázquez. *RStudio Activity, a project that is meant as an introduction into R*. https://raulvelazquez.neocities.org/RStudio/index.html

[20] Adrià Cantarero, Raúl Velázquez. *APLICACIÓ: Contaminació a Martorell*. https://drive.google.com/file/d/1A7hBTsOZUeslQTzKxPIX7ByS1d_CvUvx/view

[21] Adrià Cantarero, Raúl Velázquez. *Estació meteorològica i de contaminació a Martorell*. https://estacio-martorell.neocities.org/

[22] Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. (2016). La qualitat de l'aire a Catalunya. Anuari 2016 - Resum

[23] Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. (2020).La qualitat de l'aire a Catalunya. Anuari 2020

[24] Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. (2020).La qualitat de l'aire a Catalunya. Anuari 2020 - Annex

[25] Carslaw, D. (2020). The openair manual open-source tools for analysing air pollution data, version: 12th November 2019. University of York and Ricardo Energy Environment. Available online.

[26] Kuehn, B. M. (2021). Saving Tens of Thousands of Lives by Cutting Air Pollution. JAMA, 325(11), 1031-1031.

[27] World Health Organization. (2021). New WHO Global Air Quality Guidelines Aim to Save Millions of Lives from Air Pollution.

[28] Collaborators, G. B. D., Ärnlöv, J. (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 19902019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. The Lancet, 396(10258), 1223-1249.

[29] Cox, L. A. (2021). Quantitative Risk Analysis of Air Pollution Health Effects. Springer.

[30] Chen, H., Kaufman, J. S., Olaniyan, T., Pinault, L., Tjepkema, M., Chen, L., ... Benmarhnia, T. (2021). Changes in exposure to ambient fine particulate matter after relocating and long term survival in Canada: quasi-experimental study. bmj, 375.

[31] Di, Q., Wang, Y., Zanobetti, A., Wang, Y., Koutrakis, P., Choirat, C., ... Schwartz, J. D. (2017). Air pollution and mortality in the Medicare population. New England Journal of Medicine, 376(26), 2513-2522.

[32] Liu, C., Chen, R., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Guo, Y., Tong, S., ... Kan, H. (2019). Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. New England Journal of Medicine, 381(8), 705-715.

[33] Rajagopalan, S., Landrigan, P. J. (2021). Pollution and the Heart. New England Journal of Medicine, 385(20), 1881-1892.

[34] Ciabattini, M., Rizzello, E., Lucaroni, F., Palombi, L., Boffetta, P. (2021). Systematic review and meta-analysis of recent high-quality studies on exposure to particulate matter and risk of lung cancer. Environmental Research, 196, 110440.

[35] Yu, P., Guo, S., Xu, R., Ye, T., Li, S., Sim, M. R., ... Guo, Y. (2021). Cohort studies of long-term exposure to outdoor particulate matter and risks of cancer: A systematic review and meta-analysis. The Innovation, 2(3), 100143.

[36] Cao, L., Wang, L., Wu, L., Wang, T., Cui, X., Yu, L., ... Mao, H. (2021). Particulate matter and hypertensive disorders in pregnancy: systematic review and meta-analysis. Public Health, 200, 22-32.

[37] Lin, L., Li, T., Sun, M., Liang, Q., Ma, Y., Wang, F., ... Sun, Z. (2021). Effect of particulate matter exposure on the prevalence of allergic rhinitis in children: a systematic review and meta-analysis. Chemosphere, 268, 128841.

[38] World Health Organization. (2021). WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2. 5 and PM10). Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide: Executive Summary.

Apèndix

A

A.1 Codi de l'Enviro + Air Quality

En aquest apartat mostrem el codi que executem per tal de llegir les diverses dades de l'Enviro +.

```
#!/usr/bin/env python3

import time
import colorsys
import sys
import ST7735
try:
    # Transitional fix for breaking change in LTR559
    from ltr559 import LTR559
    ltr559 = LTR559()
except ImportError:
    import ltr559

from bme280 import BME280
from pms5003 import PMS5003, ReadTimeoutError as pmsReadTimeoutError,
                                                SerialTimeoutError
from enviroplus import gas
from subprocess import PIPE, Popen
from PIL import Image
from PIL import ImageDraw
from PIL import ImageFont
from fonts.ttf import RobotoMedium as UserFont
import logging

logging.basicConfig(
    format='%(asctime)s.%(msecs)03d %(levelname)-8s %(message)s',
    level=logging.INFO,
    datefmt='%Y-%m-%d %H:%M:%S')

logging.info("""combined.py - Displays readings from all of Enviro plus
                                                ' sensors

Press Ctrl+C to exit!

""")

# BME280 temperature/pressure/humidity sensor
bme280 = BME280()

# PMS5003 particulate sensor
```

```
pms5003 = PMS5003()
time.sleep(1.0)

# Create ST7735 LCD display class
st7735 = ST7735.ST7735(
    port=0,
    cs=1,
    dc=9,
    backlight=12,
    rotation=270,
    spi_speed_hz=10000000
)

# Initialize display
st7735.begin()

WIDTH = st7735.width
HEIGHT = st7735.height

# Set up canvas and font
img = Image.new('RGB', (WIDTH, HEIGHT), color=(0, 0, 0))
draw = ImageDraw.Draw(img)
font_size_small = 10
font_size_large = 20
font = ImageFont.truetype(UserFont, font_size_large)
smallfont = ImageFont.truetype(UserFont, font_size_small)
x_offset = 2
y_offset = 2

message = ""

# The position of the top bar
top_pos = 25

# Create a values dict to store the data
variables = ["temperature",
             "pressure",
             "humidity",
             "light",
             "oxidised",
             "reduced",
             "nh3",
             "pm1",
             "pm25",
             "pm10"]

units = ["C",
         "hPa",
         "%",
         "Lux",
         "kO",
         "kO",
         "kO",
         "ug/m3",
         "ug/m3",
```

```
        "ug/m3"]

# Define your own warning limits
# The limits definition follows the order of the variables array
# Example limits explanation for temperature:
# [4,18,28,35] means
# [-273.15 .. 4] -> Dangerously Low
# (4 .. 18]      -> Low
# (18 .. 28]     -> Normal
# (28 .. 35]     -> High
# (35 .. MAX]    -> Dangerously High
# DISCLAIMER: The limits provided here are just examples and come
# with NO WARRANTY. The authors of this example code claim
# NO RESPONSIBILITY if reliance on the following values or this
# code in general leads to ANY DAMAGES or DEATH.
limits = [[4, 18, 28, 35],
          [250, 650, 1013.25, 1015],
          [20, 30, 60, 70],
          [-1, -1, 30000, 100000],
          [-1, -1, 40, 50],
          [-1, -1, 450, 550],
          [-1, -1, 200, 300],
          [-1, -1, 50, 100],
          [-1, -1, 50, 100],
          [-1, -1, 50, 100]]

# RGB palette for values on the combined screen
palette = [(0, 0, 255),          # Dangerously Low
           (0, 255, 255),        # Low
           (0, 255, 0),          # Normal
           (255, 255, 0),        # High
           (255, 0, 0)]          # Dangerously High

values = {}


# Displays data and text on the 0.96" LCD
def display_text(variable, data, unit):
    # Maintain length of list
    values[variable] = values[variable][1:] + [data]
    # Scale the values for the variable between 0 and 1
    vmin = min(values[variable])
    vmax = max(values[variable])
    colours = [(v - vmin + 1) / (vmax - vmin + 1) for v in values[
                                                variable]]
    # Format the variable name and value
    message = "{}: {:.1f} {}".format(variable[:4], data, unit)
    logging.info(message)
    draw.rectangle((0, 0, WIDTH, HEIGHT), (255, 255, 255))
    for i in range(len(colours)):
        # Convert the values to colours from red to blue
        colour = (1.0 - colours[i]) * 0.6
        r, g, b = [int(x * 255.0) for x in colorsys.hsv_to_rgb(colour,
                                                1.0, 1.0)]
        # Draw a 1-pixel wide rectangle of colour
```

```
        draw.rectangle((i, top_pos, i + 1, HEIGHT), (r, g, b))
        # Draw a line graph in black
        line_y = HEIGHT - (top_pos + (colours[i] * (HEIGHT - top_pos))) + top_pos
        draw.rectangle((i, line_y, i + 1, line_y + 1), (0, 0, 0))
    # Write the text at the top in black
    draw.text((0, 0), message, font=font, fill=(0, 0, 0))
    st7735.display(img)


# Saves the data to be used in the graphs later and prints to the log
def save_data(idx, data):
    variable = variables[idx]
    # Maintain length of list
    values[variable] = values[variable][1:] + [data]
    unit = units[idx]
    message = "{}: {:.1f} {}".format(variable[:4], data, unit)
    logging.info(message)


# Displays all the text on the 0.96" LCD
def display_everything():
    draw.rectangle((0, 0, WIDTH, HEIGHT), (0, 0, 0))
    column_count = 2
    row_count = (len(variables) / column_count)
    for i in range(len(variables)):
        variable = variables[i]
        data_value = values[variable][-1]
        unit = units[i]
        x = x_offset + ((WIDTH // column_count) * (i // row_count))
        y = y_offset + ((HEIGHT / row_count) * (i % row_count))
        message = "{}: {:.1f} {}".format(variable[:4], data_value, unit)
        lim = limits[i]
        rgb = palette[0]
        for j in range(len(lim)):
            if data_value > lim[j]:
                rgb = palette[j + 1]
        draw.text((x, y), message, font=smallfont, fill=rgb)
    st7735.display(img)


# Get the temperature of the CPU for compensation
def get_cpu_temperature():
    process = Popen(['vcgencmd', 'measure_temp'], stdout=PIPE, universal_newlines=True)
    output, _error = process.communicate()
    return float(output[output.index('=') + 1:output.rindex("'")])


def main():
    # Tuning factor for compensation. Decrease this number to adjust the
    # temperature down, and increase to adjust up
    factor = 2.25
```

```
cpu_temps = [get_cpu_temperature()] * 5

delay = 0.5  # Debounce the proximity tap
mode = 10    # The starting mode
last_page = 0

for v in variables:
    values[v] = [1] * WIDTH

# The main loop
try:
    while True:
        proximity = ltr559.get_proximity()

        # If the proximity crosses the threshold, toggle the mode
        if proximity > 1500 and time.time() - last_page > delay:
            mode += 1
            mode %= (len(variables) + 1)
            last_page = time.time()

        # One mode for each variable
        if mode == 0:
            # variable = "temperature"
            unit = "C"
            cpu_temp = get_cpu_temperature()
            # Smooth out with some averaging to decrease jitter
            cpu_temps = cpu_temps[1:] + [cpu_temp]
            avg_cpu_temp = sum(cpu_temps) / float(len(cpu_temps))
            raw_temp = bme280.get_temperature()
            data = raw_temp - ((avg_cpu_temp - raw_temp) / factor)
            display_text(variables[mode], data, unit)

        if mode == 1:
            # variable = "pressure"
            unit = "hPa"
            data = bme280.get_pressure()
            display_text(variables[mode], data, unit)

        if mode == 2:
            # variable = "humidity"
            unit = "%"
            data = bme280.get_humidity()
            display_text(variables[mode], data, unit)

        if mode == 3:
            # variable = "light"
            unit = "Lux"
            if proximity < 10:
                data = ltr559.get_lux()
            else:
                data = 1
            display_text(variables[mode], data, unit)

        if mode == 4:
```

```
                # variable = "oxidised"
                unit = "kO"
                data = gas.read_all()
                data = data.oxidising / 1000
                display_text(variables[mode], data, unit)

            if mode == 5:
                # variable = "reduced"
                unit = "kO"
                data = gas.read_all()
                data = data.reducing / 1000
                display_text(variables[mode], data, unit)

            if mode == 6:
                # variable = "nh3"
                unit = "kO"
                data = gas.read_all()
                data = data.nh3 / 1000
                display_text(variables[mode], data, unit)

            if mode == 7:
                # variable = "pm1"
                unit = "ug/m3"
                try:
                    data = pms5003.read()
                except pmsReadTimeoutError:
                    logging.warning("Failed to read PMS5003")
                else:
                    data = float(data.pm_ug_per_m3(1.0))
                    display_text(variables[mode], data, unit)

            if mode == 8:
                # variable = "pm25"
                unit = "ug/m3"
                try:
                    data = pms5003.read()
                except pmsReadTimeoutError:
                    logging.warning("Failed to read PMS5003")
                else:
                    data = float(data.pm_ug_per_m3(2.5))
                    display_text(variables[mode], data, unit)

            if mode == 9:
                # variable = "pm10"
                unit = "ug/m3"
                try:
                    data = pms5003.read()
                except pmsReadTimeoutError:
                    logging.warning("Failed to read PMS5003")
                else:
                    data = float(data.pm_ug_per_m3(10))
                    display_text(variables[mode], data, unit)
            if mode == 10:
                # Everything on one screen
                cpu_temp = get_cpu_temperature()
```

```
                # Smooth out with some averaging to decrease jitter
                cpu_temps = cpu_temps[1:] + [cpu_temp]
                avg_cpu_temp = sum(cpu_temps) / float(len(cpu_temps))
                raw_temp = bme280.get_temperature()
                raw_data = raw_temp - ((avg_cpu_temp - raw_temp) /
                                       factor)
                save_data(0, raw_data)
                display_everything()
                raw_data = bme280.get_pressure()
                save_data(1, raw_data)
                display_everything()
                raw_data = bme280.get_humidity()
                save_data(2, raw_data)
                if proximity < 10:
                    raw_data = ltr559.get_lux()
                else:
                    raw_data = 1
                save_data(3, raw_data)
                display_everything()
                gas_data = gas.read_all()
                save_data(4, gas_data.oxidising / 1000)
                save_data(5, gas_data.reducing / 1000)
                save_data(6, gas_data.nh3 / 1000)
                display_everything()
                pms_data = None
                try:
                    pms_data = pms5003.read()
                except (SerialTimeoutError, pmsReadTimeoutError):
                    logging.warning("Failed to read PMS5003")
                else:
                    save_data(7, float(pms_data.pm_ug_per_m3(1.0)))
                    save_data(8, float(pms_data.pm_ug_per_m3(2.5)))
                    save_data(9, float(pms_data.pm_ug_per_m3(10)))
                    display_everything()

    # Exit cleanly
    except KeyboardInterrupt:
        sys.exit(0)


if __name__ == "__main__":
    main()
```

A.2 Representació de dades amb RStudio

En aquest apartat mostrem els passos seguits per a realitzar l'anàlisi de la contaminació de l'aire des del 1991 fins al 2021 a Martorell, amb el llenguatge de programació R.

Recollida de dades

Les dades es poden trobar a:

- Dades de contaminació atmosfèrica [16]
- Dades meteorològiques[17]

Hem de tenir en compte que les dades són horàries per contaminació i les dades meteorològiques són semihoràries (cada 30 minuts) que hem de combinar en un únic "dataframe" per fer gràfics que relacionin ambdós tipus de dades.

De les dades meteorològiques, els codis de les variables que necessitem són 30 per "wind speed" que anomenarem "ws", i 31 per "wind direction" que anomenarem "wd". Les dates seran en format ISO8601 2021-03-15 16:00:00 amb format POSIXct amb el nom "date". Els noms "date", "ws" i "wd" són requisits d'*Openair*.

Programari necessari

Es necessari instal.lar el programa *RStudio* i els paquets *Tidyverse* i *Openair*. *Tidyverse* permet ordenar les dades. *Openair* permet fer estudis de l'aire, hora a hora, dia a dia, any a any de forma específica i avançada.

Per instal.lar aquest 2 paquets de R hem d'escriure:

```
install.packages (c("tidyverse","openair"))
```

Ordenant les dades atmosfèriques

Hem de llegir les dades del nostre ordinador:

```
city<-read.csv("C://Users/YOURCOMPUTERNAME/Documents/city.csv")

View(city)
```

Canviem les hores de les columnes per les files:

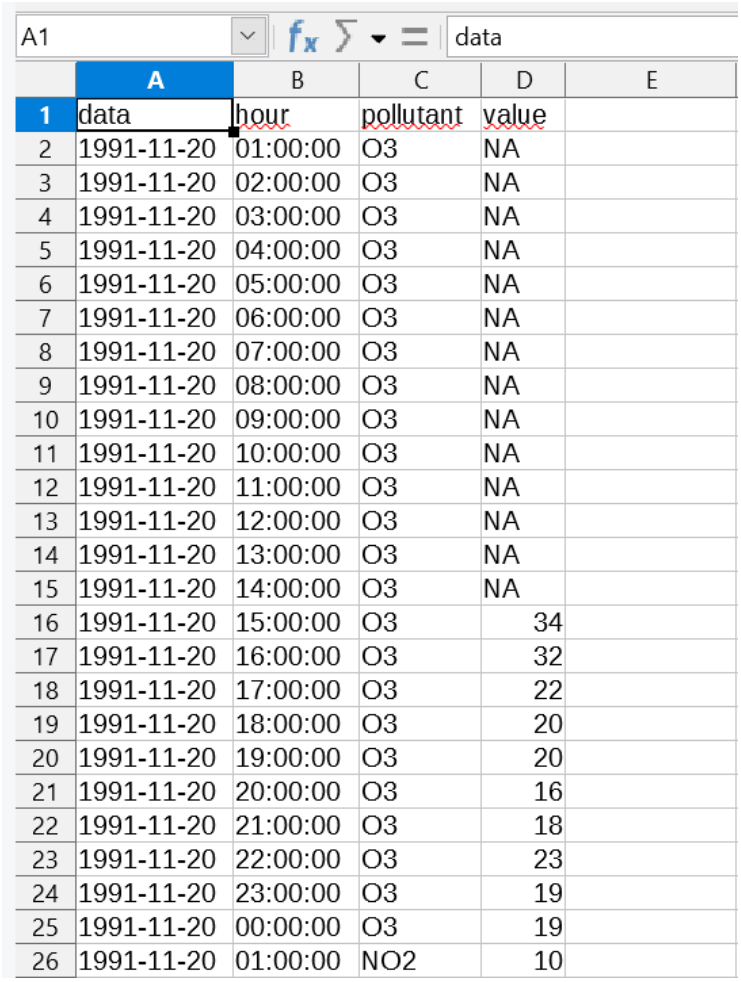
```
city1<-pivot_longer(city,cols=c(h01,h02,h03,h04,h05,h06,h07,h08,h09,
h10,h11,h12,h13,h14,h15,h16,h17,h18,h19,h20,h21,h22,h23,h24),
names_to="hour", values_to = "value")

city2<-city1[-c(1,2,4,6:16)]

write.csv(city2,"C:\\Users\\YOURCOMPUTERNAME\\Documents\\city2.csv")
```

Modificació de les dades amb LibreOffice Calc

Esborrem T00.00.00.000 i substituim la hora h01 per 01:00:00 i així amb totes les hores fins obtenir les dates en format ISO (A.1):



A1 | data

	A	B	C	D	E
1	data	hour	pollutant	value	
2	1991-11-20	01:00:00	O3	NA	
3	1991-11-20	02:00:00	O3	NA	
4	1991-11-20	03:00:00	O3	NA	
5	1991-11-20	04:00:00	O3	NA	
6	1991-11-20	05:00:00	O3	NA	
7	1991-11-20	06:00:00	O3	NA	
8	1991-11-20	07:00:00	O3	NA	
9	1991-11-20	08:00:00	O3	NA	
10	1991-11-20	09:00:00	O3	NA	
11	1991-11-20	10:00:00	O3	NA	
12	1991-11-20	11:00:00	O3	NA	
13	1991-11-20	12:00:00	O3	NA	
14	1991-11-20	13:00:00	O3	NA	
15	1991-11-20	14:00:00	O3	NA	
16	1991-11-20	15:00:00	O3	34	
17	1991-11-20	16:00:00	O3	32	
18	1991-11-20	17:00:00	O3	22	
19	1991-11-20	18:00:00	O3	20	
20	1991-11-20	19:00:00	O3	20	
21	1991-11-20	20:00:00	O3	16	
22	1991-11-20	21:00:00	O3	18	
23	1991-11-20	22:00:00	O3	23	
24	1991-11-20	23:00:00	O3	19	
25	1991-11-20	00:00:00	O3	19	
26	1991-11-20	01:00:00	NO2	10	

Fig. A.1.: Captura de la modificació de les hores. Font pròpia

Combinem data i hora junts a *city4.csv* emprant RStudio:

```
city4 <- city3 %>% mutate(name=paste0(data, " ", hour))
```

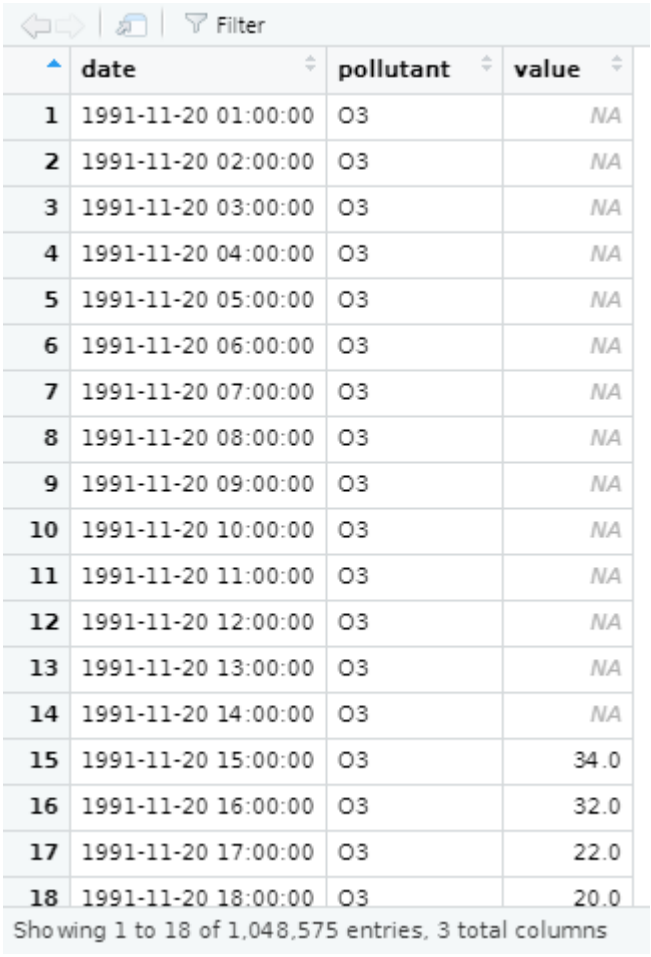
Creem *city5* juntant dia i hora sota la columna "date" (A.2):

Conversió del format de les dades

```
library(openair)

city5PM10 <- subset(city5, pollutant=="PM10")

city5PM10$date<-as.POSIXct(city5PM10$date,"%Y-%m-%d %H:%M:%S",
```



Filter

	date	pollutant	value
1	1991-11-20 01:00:00	O3	NA
2	1991-11-20 02:00:00	O3	NA
3	1991-11-20 03:00:00	O3	NA
4	1991-11-20 04:00:00	O3	NA
5	1991-11-20 05:00:00	O3	NA
6	1991-11-20 06:00:00	O3	NA
7	1991-11-20 07:00:00	O3	NA
8	1991-11-20 08:00:00	O3	NA
9	1991-11-20 09:00:00	O3	NA
10	1991-11-20 10:00:00	O3	NA
11	1991-11-20 11:00:00	O3	NA
12	1991-11-20 12:00:00	O3	NA
13	1991-11-20 13:00:00	O3	NA
14	1991-11-20 14:00:00	O3	NA
15	1991-11-20 15:00:00	O3	34.0
16	1991-11-20 16:00:00	O3	32.0
17	1991-11-20 17:00:00	O3	22.0
18	1991-11-20 18:00:00	O3	20.0

Showing 1 to 18 of 1,048,575 entries, 3 total columns

Fig. A.2.: Captura de la combinació de data i hora. Font pròpia

```
tz="Europe/Madrid")

class(city5PM10$date)
```

La resposta ha de ser:

[1] "POSIXct" "POSIXt"

S'ha de vigilar que la data no sigui un conjunt de caràcters (character) sino un "POSIX", es a dir, una "data":

```
1 class(city5PM10$date)
```

La resposta serà:

[1] "character"

Així que hem de canviar-ho per un POSIXct:

```
city5PM10$date<-as.POSIXct(city5PM10$date,"%Y-%m-%d %H:%M:%S",
tz="Europe/Madrid")

class(city5PM10$date)
```

La resposta ha de ser:

[1] "POSIXct" "POSIXt"

```
class(city5PM10$pollutant)
```

La resposta serà:

[1] "character"

Així que hem de canviar-ho per un "factor":

```
city5PM10$pollutant<-as.factor(city5PM10$pollutant)

class(city5PM10$pollutant)
```

La resposta ha de ser:

[1] "factor"

Ordenant les dades amb pivot wider

Ordenem les dades utilitzant "pivot wider" (A.3):

```
library(tidyverse)

library (openair)

city6<-pivot_wider(city5, names_from= pollutant, values_from =value)

View (city6)

write.csv(city6,"C:\\Users\\YOURCOMPUTERNAME\\Documents\\MYCITY\\
city6.csv")
```

Creant gràfics amb Openair R

Ara ja podem extreure els primers gràfics de la secció 3.1. No obstant, per alguns gràfics necessitem fer altres passos abans:

Per als gràfics 3.11, 3.12 i 3.13, primer hem de fer (A.4):

```
yearly<-timeAverage(city5NO2,avg.time = "year")

View(yearly)
```

	date	NOX	NO2	CO	SO2	H2S	NO	PM10	O3	HCT
1	2014-09-10 01:00:00	26	25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	2014-09-10 02:00:00	37	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	2014-09-10 03:00:00	21	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	2014-09-10 04:00:00	22	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
5	2014-09-10 05:00:00	33	27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
6	2014-09-10 06:00:00	50	33	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
7	2014-09-10 07:00:00	75	38	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
8	2014-09-10 08:00:00	103	39	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
9	2014-09-10 09:00:00	153	43	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
10	2014-09-10 10:00:00	95	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
11	2014-09-10 11:00:00	69	34	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Fig. A.3.: Captura del resultat d'utilitzar "pivot wider". Font pròpia

	date	value
1	2018-01-01	20.15647
2	2019-01-01	21.07787
3	2020-01-01	19.75022
4	2021-01-01	28.96624

Fig. A.4.: Captura del resultat d'utilitzar "yearly". Font pròpia

Per altra banda, per al gràfic 3.14 hem de fer el següent:

```
class(city6$date)
```

La resposta serà: [1] "character"

Així que hem de canviar-ho per un POSIXct:

```
city6$date<- as.POSIXct(city6$date,format="%Y-%m-%d
%H:%M:%S",tz="Europe/Madrid")
```

Per últim, per al gràfic 3.15 és necessari realitzar abans els passos que es mostren en els punts següents.

Ordenant les dades meteorològiques

Primerament, hem d'ordenar les dades meteorològiques:

```
wind<-read.csv("C://Users/YOURCOMPUTERNAME/Documents/wind.csv")

View(wind)

wind1<-wind[-c(1,2,5,7,8)]

wind2<-pivot_wider(wind1,names_from = CODI_VARIABLE,
values_from = VALOR_LECTURA)
```

```
names(wind2)[names(wind2) == "31"] <- "wd"

names(wind2)[names(wind2) == "30"] <- "ws"

names(wind2)[names(wind2) == "DATA_LECTURA"] <- "date"

write.csv(wind2,"C:\\Users\\YOURCOMPUTERNAME\\Documents\\wind2.csv")
```

Unir les dos bases de dades (contaminants i meteo)

Les dades que hem descarregat de la base de dades de meteorologia indicada a l'apartat anterior són semihoraries i estan expressades en AM i PM i hem de procedir amb el "Find and Replace" de LibreOffice Calc o Visual Studio Code perquè tingui el mateix format que les dades de contaminació (A.5)(A.6):

	X	date	wd	ws
1	1	19/05/2009 02:30:00 PM	131	2.9
2	2	19/05/2009 03:00:00 PM	151	2.6
3	3	19/05/2009 03:30:00 PM	155	2.7
4	4	19/05/2009 04:00:00 PM	174	2.7
5	5	19/05/2009 04:30:00 PM	174	2.0
6	6	19/05/2009 05:00:00 PM	181	1.7
7	7	19/05/2009 05:30:00 PM	153	1.4
8	8	19/05/2009 06:00:00 PM	156	1.7
9	9	19/05/2009 06:30:00 PM	160	1.8

Fig. A.5.: Captura de les dades expressades en AM i PM. Font pròpia

	date	wd	ws
1	2009-05-20 09:30:00	171	2.9
2	2009-05-20 10:00:00	171	3.6
3	2009-05-20 10:30:00	161	3.8
4	2009-05-20 11:00:00	174	3.7
5	2009-05-20 11:30:00	180	2.9
6	2009-05-20 12:00:00	136	3.2
7	2009-05-20 12:30:00	98	4.2
8	2009-05-20 13:00:00	107	3.5
9	2009-05-20 13:30:00	132	3.3
10	2009-05-20 14:00:00	127	3.1
11	2009-05-20 14:30:00	146	3.8
12	2009-05-20 15:00:00	170	3.3

Fig. A.6.: Captura de les dades expressades en format ISO8601. Font pròpia

Creem les dades horaris a partir de mitges hores:

- 1a manera de fer-ho:

```
library (openair)

wind3<-timeAverage(wind2, time.avg="hour")
```

- 2a manera de fer-ho:

```
toDelete <- seq(2, nrow(wind2), 2)

wind3<-wind2[ toDelete ,]
```

Hem d'estar segurs que la classe de data de la base de dades del vent és un tipus de data POSIXct per poder-la combinar.

Es pot unir amb diferents instruccions, per exemple, amb una d'Openair (A.7):

```
cityall<-merge(city6, wind5, by ="date")

View (cityall)
```

	date	O3	NO2	H2S	NO	HCNM	CO	SO2	HCT	NOX	PM10	wd	ws
1	2009-07-23 00:00:00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	258.650419	1.250
2	2009-07-23 01:00:00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	284.782588	1.150
3	2009-07-23 02:00:00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	272.344473	2.750
4	2009-07-23 03:00:00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	262.713239	1.050
5	2009-07-23 04:00:00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	257.500000	1.500
6	2009-07-23 05:00:00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	262.518519	1.350
7	2009-07-23 06:00:00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	252.586262	1.450
8	2009-07-23 07:00:00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	243.510094	1.350
9	2009-07-23 08:00:00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	259.054076	1.850

Fig. A.7.: Captura de la unió de les dades. Font pròpia

Ara ja podem realitzar l'últim gràfic (3.15).

A.3 Funcionament d'Integromat

En aquest apartat mostrem el codi que executem per tal de connectar la Raspberry Pi amb l'*Integromat*.

```
import datetime
import requests
import time
from bme280 import BME280
from pms5003 import PMS5003, ReadTimeoutError as pmsReadTimeoutError,
                                                 SerialTimeoutError
from enviroplus import gas
try:
    # Transitional fix for breaking change in LTR559
    from ltr559 import LTR559
    ltr559 = LTR559()
except ImportError:
    import ltr559


while True:
```

```
data_to_send = {}

data_to_send["date"] = str(datetime.datetime.now())

pms5003 = PMS5003()

data = pms5003.read()

data_to_send["pm1"] = float(data.pm_ug_per_m3(1.0))

data_to_send["pm25"] = float(data.pm_ug_per_m3(2.5))

data_to_send["pm10"] = float(data.pm_ug_per_m3(10))

data1 = gas.read_all()

data_to_send["nh3"] = data1.nh3 / 1000

data_to_send["oxidised"] = data1.oxidising / 1000

data_to_send["reduced"] = data1.reducing / 1000

bme280 = BME280()

data2 = bme280.get_pressure()

data_to_send["pressure"] = data2

data3 = bme280.get_humidity()

data_to_send["humidity"] = data3

data4 = bme280.get_temperature()

data_to_send["temperature"] = data4

data5 = ltr559.get_lux()

data_to_send["light"] = data5

print(data_to_send)

r = requests.post("url d'integromat", json = data_to_send)

print(r.status_code)

time.sleep(900)
```

A.4 t-Student

En aquest apartat mostrem el codi que executem per tal de fer una t-Student amb el llenguatge R. Comentar que on al codi fica "DATA" s'ha de ficar les diferents dades que es vol analitzar.

```
a<- c(DATA)                #OXIDANTS, PUNTA
b<-c(DATA)                 #OXIDANTS, VALL
c<-c(DATA)                 #REDUCTORS, PUNTA
d<-c(DATA)                 #REDUCTORS, VALL
e<-c(DATA)                 #NH3, PUNTA
f<-c(DATA)                 #NH3, VALL
g<-c(DATA)                 #PM1, PUNTA
h<-c(DATA)                 #PM1, VALL
i<-c(DATA)                 #PM2.5, PUNTA
j<-c(DATA)                 #PM2.5, VALL
k<-c(DATA)                 #PM10, PUNTA
l<-c(DATA)                 #PM10, VALL
total<-data.frame(a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l)

t.test(a,b)
t.test(c,d)
t.test(e,f)
t.test(g,h)
t.test(i,j)
t.test(k,l)
summary(total)
sd(a)
sd(b)
sd(c)
sd(d)
sd(e)
sd(f)
sd(g)
sd(h)
sd(i)
sd(j)
sd(k)
sd(l)

boxplot(total, range=1,main = "Comparativa de contaminants durant
hores punta i vall", col = "lightblue", ylab="Contaminants (ug/m3)
(kO)", xlab="a/b=Oxidants de punta/vall c/d=Reductors de punta/vall
e/f=NH3 de punta/vall g/h=PM1 de punta/vall i/j=PM2.5 de punta/vall
k/l=PM10 de punta/vall")
```

A.5 Taules varies

En aquest apartat mostrem les taules sobre límits de contaminació de l'OMS i la UE. A més, mostrem una taula (dividida en quatre parts) sobre els problemes dels diferents programes per a la representació de dades (3.7).

	OMS		UE	
CONTAMINANT	Diari	Anual	Diari	Anual
PM2.5	15 µg/m3	5 µg/m3	-	20-25 µg/m3
SO2	40 µg/m3	-	125 µg/m3	-
NO2	25 µg/m3	10 µg/m3		40 µg/m3
PM10	45 µg/m3	15 µg/m3	50 µg/m3	40 µg/m3
CO	4 mg/m3	-	10 mg/m3 (en 8 hores diàries)	-
O3	100 µg/m3 (en 8 hores diàries)	-	120 µg/m3 (en 8 hores diàries)	-

Fig. A.8.: Taula comparativa de límits sobre contaminació de l'OMS i la UE. Font pròpia

Pollutant	Averaging time	Interim target				AQG level
		1	2	3	4	
$PM_{2.5}$, µg/m³	Annual	35	25	15	10	5
	24-hour[a]	75	50	37.5	25	15
PM_{10}, µg/m³	Annual	70	50	30	20	15
	24-hour[a]	150	100	75	50	45
O_3, µg/m³	Peak season[b]	100	70	–	–	60
	8-hour[a]	160	120	–	–	100
NO_2, µg/m³	Annual	40	30	20	–	10
	24-hour[a]	120	50	–	–	25
SO_2, µg/m³	24-hour[a]	125	50	–	–	40
CO, mg/m³	24-hour[a]	7	–	–	–	4

[a] 99th percentile (i.e. 3–4 exceedance days per year).
[b] Average of daily maximum 8-hour mean O_3 concentration in the six consecutive months with the highest six-month running-average O_3 concentration.

Fig. A.9.: "Air Quality Guidelines" de l'OMS. Fontpròpia

Pollutant	*Concentration*	*Averaging period*	*Legal nature*	*Permitted exceedences each year*
Fine particles (PM2.5)	25 µg/m^3	1 year	Target value to be met as of 1.1.2010 Limit value to be met as of 1.1.2015	n/a
	20 µg/m^3	1 year	Stage 2 limit value to be met as of 1.1.2020***	n/a
Sulphur dioxide (SO2)	350 µg/m3	1 hour	Limit value to be met as of 1.1.2005	24
	125 µg/m3	24 hours	Limit value to be met as of 1.1.2005	3
Nitrogen dioxide (NO2)	200 µg/m3	1 hour	Limit value to be met as of 1.1.2010	18
	40 µg/m3	1 year	Limit value to be met as of 1.1.2010 *	n/a
PM10	50 µg/m3	24 hours	Limit value to be met as of 1.1.2005 **	35
	40 µg/m3	1 year	Limit value to be met as of 1.1.2005 **	n/a
Lead (Pb)	0.5 µg/m3	1 year	Limit value to be met as of 1.1.2005 (or 1.1.2010 in the immediate vicinity of specific, notified industrial sources; and a 1.0 µg/m3 limit value applied from 1.1.2005 to 31.12.2009)	n/a
Carbon monoxide (CO)	10 mg/m3	Maximum daily 8 hour mean	Limit value to be met as of 1.1.2005	n/a
Benzene	5 µg/m3	1 year	Limit value to be met as of 1.1.2010**	n/a
Ozone	120 µg/m3	Maximum daily 8 hour mean	Target value to be met as of 1.1.2010	25 days averaged over 3 years
Arsenic (As)	6 ng/m3	1 year	Target value to be met as of 31.12.2012	n/a
Cadmium (Cd)	5 ng/m3	1 year	Target value to be met as of 31.12.2012	n/a
Nickel (Ni)	20 ng/m3	1 year	Target value to be met as of 31.12.2012	n/a
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	1 ng/m3 (expressed as concentration of Benzo(a)pyrene)	1 year	Target value to be met as of 31.12.2012	n/a

Fig. A.10.: "Air Quality Standards" de la Unió Europea. Font: *European Commission website*

	Blink	Thingsboard
Versió gratuïta	- 2 dispositius. - 5 usuaris. - "Widgets" bàsics. - 1 setmana d'emmagatzematge de dades.	- Dispositius il.limitats. - Actualitzacions de programari i.limitades. - "Widgets" bàsics. - Necessita instal.lació.
Versió de pagament (més barata)	- USD $4.99/mes. - 10 dispositius. - 10 usuaris. - "Widgets" professionals. - 3 mesos d'emmagatzematge de dades.	- $10/mes - 10 milions de punts de dades per mes ("data points"). - 30 dispositius. - "Widgets" professionals.

Fig. A.11.: Taula comparativa de programes (1). Font pròpia

Ubidots	Firebase	Adafruit	Cayenne	Dweet
- 3 Dispositius. - +30 tipus de "Widgets" (i les eines per a codificar els nostres propis). - "Widgets" bàsics.	- Database (base de dades). - Firestore. - Storage. - Functions. - Phone Auth. - Hosting. - Test Lab. - Analytics. - Notifications. - Crash Reporting.	- 30 punts de dades (datapoints) cada minut. - 30 dies d'emmagatzematge de dades. - S'activa cada 15 minuts. - 5 taulers. - 2 dispositius "WipperSnapper". - 5 grups. - 10 alimentacions.	- És necessari contactar amb l'empresa per a arribar a definir límits i preus.	- Emmagatzema 5 dades durant 24 hores.
- $49/mes (No és assequible per a estudiants com nosaltres).	- Pagues només pel que utilitzis. - Google Cloud.	- $10/mes o $99/any. - 60 punts de dades (datapoints) cada minut. - 60 dies d'emmagatzematge de dades. - S'activa cada 5 segons.		- Hem de pagar 1,99$ per a guardar les dades durant 30 dies.

Fig. A.12.: Taula comparativa de programes (2). Font pròpia

Thingspeak	Balena	Temboo	Pubnub	HiveMQ
- 3 milions de missatges per any (8200/dia). - Interval d'actualització de missatges cada 15 segons. - 4 canals. - 20 segons de "MATLAB Compute Timeout". - Compartició de canals privats limitat a 3 accions.	- 10 dispositius.	- No és compatible amb Rapberry Pi.	- 200 MAUs. - Prova del nostre codi amb límits de funcionalitat.	- 100 sessions de client MQTT. - 10 GB de trànsit de dades. - 3 dies de retenció de dades. - 5 MB com a mida màxima d'un missatge.
- "USD 650.00 price/unit/year" (No és assequible per a estudiants com nosaltres).	- $109/mes (No és assequible per a estudiants com nosaltres).	- $49/mes (No és assequible per a estudiants com nosaltres).	- $12/mes. - Dades il.limitades. - Dispositius il.limitats. - Taulers de control il.limitats. - "Widgets" il.limitats. - 5 taulers privats.	- Contactar per conèixer preus i límits.

Fig. A.13.: Taula comparativa de programes (3). Font pròpia

Sense programari (Google Sheets).	Integromat.
- Dades il·limitades. - Actualització il.limitada. - Error en l'actualització dels gràfics. - Sense limitacions de tamany.	- 1000 operacions per mes. - Màxim de transferència de 100 MB. - Sense limitacions de temps si programem el codi (Si no, de 15 minuts).
- No.	- $9/mes. - 10000 operacions per mes. - Màxim de transferència de 1 GB. - Sense limitacions de temps si programem el codi (Si no, de 5 minuts).

Fig. A.14.: Taula comparativa de programes (4). Font pròpia