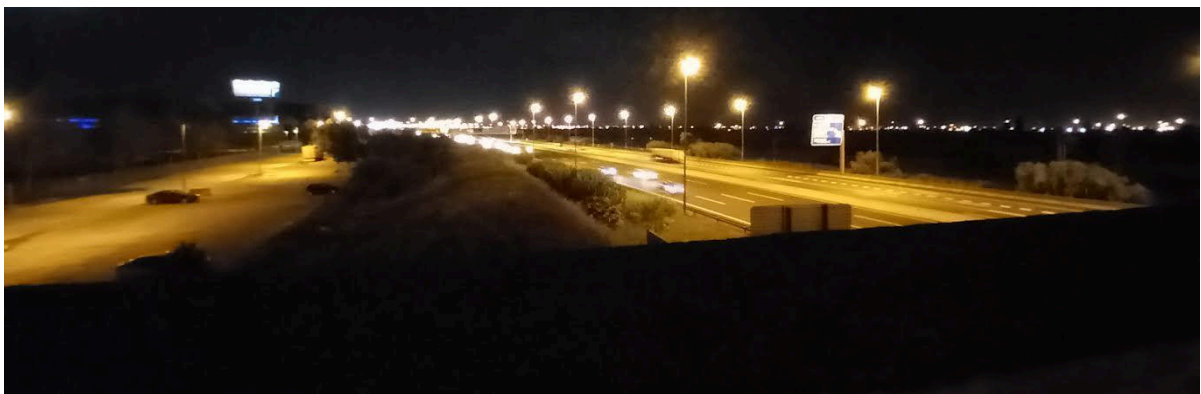




Estudi de la contaminació lumínica a Cornellà de Llobregat



Realitzat per: Bruno Carrasco Colell

Curs 2024/2025

Agraïments

Aquest treball de recerca no hauria estat possible sense el suport i revisions de la meva tutora. En tot moment m'ha ajudat i m'ha motivat per assolir els meus objectius de recerca. La seva eficiència m'ha servit d'exemple a seguir.

També vull agrair el recolzament dels meus pares, que m'han animat en els moments més difícils i d'estancament. Especialment, agraeixo al meu pare el seu temps i dedicació, ja que m'ha acompanyat en la part tècnica i científica, ajudant-me a aconseguir l'instrument de mesura i també en la resolució de dubtes.

Mereix una menció especial l'investigador Eduard Masana, sense el qual no hauria pogut tenir el model de GAMBONS, incloent l'efecte de la llum de la lluna en el cel nocturn.

Resum

A causa de l'elevada urbanització arreu del món, la contaminació lumínica s'ha convertit en un problema a la societat moderna. El propòsit d'aquest treball de recerca és realitzar un estudi sobre la contaminació lumínica a Cornellà de Llobregat.

L'objectiu del treball és analitzar els factors que afecten a la condició del cel nocturn, i el mètode per a dur-ho a terme és mitjançant la presa simultània de dades a Cornellà de Llobregat, una zona propera a un nucli urbà, i a Alinyà, un poble en una vall de muntanya, utilitzant el fotòmetre FreeDSM, capaç de mesurar la il·luminació al cel. A partir de les dades, es deriva la Magnitud Límit Estel·lar, que ens informa de l'estrella més feble que podem observar a simple vista. A més, també es fa ús d'un model de brillantor nocturna que marca els valors naturals que hauria de tenir el cel, excloent la il·luminació de fonts artificials.

Basant-nos en l'escala de Bortle, les mesures indiquen que la qualitat del cel a Cornellà de Llobregat és molt baixa, situant-se a la pitjor classe de cel nocturn que pot existir. Hi ha una diferència d'aproximadament tres magnituds entre les estrelles visibles a Alinyà i a Cornellà, i tot apunta que la problemàtica de la contaminació lumínica no té una arrel exclusivament en el municipi.

Abstract

Due to the high urbanization around the world, light pollution has become a problem in modern society. The purpose of this research project is to carry out a study on light pollution in Cornellà de Llobregat.

The aim of the project is to analyze the factors that affect the condition of the night sky, and the method to carry it out is through the simultaneous taking of data in Cornellà de Llobregat, an area close to an urban center, and in Alinyà, a village in a mountain valley, using the FreeDSM photometer, capable of measuring the illumination in the sky. From the data, the Stellar Limit Magnitude is derived, which informs us of the faintest star that we can observe with the naked eye. In addition, a night brightness model is also used to mark the natural values that the sky should have, excluding lighting from artificial sources.

Based on the Bortle scale, the measurements indicate that the quality of the sky in Cornellà de Llobregat is very low, being in the worst class of night sky that can exist. There is a difference of approximately three magnitudes between the stars visible in Alinyà and Cornellà, and everything points to the problem of light pollution not having its root exclusively in the municipality.

Índex

Introducció i objectius del TR.....	1
1. Contaminació lumínica.....	3
1.1 Origen de la contaminació lumínica.....	4
1.2 Efectes adversos.....	4
1.3 Tipus de mesura.....	5
1.4 MALE i escala de BORTLE.....	5
2. Fotòmetre FreeDSM.....	7
2.1 Components del detector.....	8
2.2 Variables i magnituds mesurables.....	9
2.3 Procés d'instal·lació.....	9
3. Procés de mesura i conversió.....	12
3.1 Rebuda de les dades i reseteig de l'aparell.....	12
3.2 Codi de formateig i organització dels arxius.....	13
4. Graficació i anàlisi de les dades.....	15
4.1 Què és TOPCAT?.....	15
4.2 Instal·lació del programa.....	16
4.3 Introducció dels arxius i procediment inicial.....	17
4.4 Exportació i resultats gràfics.....	19
4.5 Alternativa amb STILTS.....	21
4.6 Model de brillantor nocturn (GAMBONS).....	22
5. Anàlisi dels resultats.....	24
5.1 Cornellà.....	25
5.2 Cornellà versus Alinyà.....	33
5.3 Anàlisi dels factors que afecten a la qualitat del cel.....	36
5.4 Classificació dels cels en l'escala de BORTLE.....	39
6. Conclusions.....	40
Bibliografia.....	42
Annexos.....	44
Format dels registres i exemple.....	44
Explicació i funció del codi.....	45

Introducció i objectius del TR

L'astrofísica és un àmbit que em crida molt l'atenció, degut a la seva manera d'analitzar amb tanta precisió matemàtica i física l'espai exterior i els seus elements. Em fascina fins al punt de voler-m'hi dedicar en un futur, si és possible. Per això, sabia que el meu treball de recerca havia d'estar directament relacionat amb la ciència, i dintre d'aquesta, amb la física i les matemàtiques.

Per decidir el meu tema concret, el meu entorn em va ajudar molt, ja que el fet de tenir gent propera a mi que es dediqués a això, em va encoratjar a plantejar-me un objectiu relacionat amb aquest àmbit per a prendre un primer "contacte" amb tot el que és l'astrofísica i, a part, amb el món professional de la investigació científica en general.

Inicialment, la meua idea era utilitzar un programari per analitzar dades d'alguna organització i prendre les meves pròpies conclusions, però tenia diversos dubtes: què analitzo? En què em puc centrar? Hi ha massa coses per observar, no puc donar l'abast per contemplar totes les possibilitats.

En aquest moment d'incertesa, va venir el meu pare i em va ensenyar un aparell: un fotòmetre del CITIC (Centre d'Investigació de Tecnologies, Informació i Comunicacions), facilitat per la Universitat de La Coruña, en col·laboració amb la Universitat de Barcelona. Va ser llavors que se'm va acudir que, aprofitant l'accés gratuït a un instrument tan especial i útil, podria observar el cel nocturn, prendre un gran nombre de dades, i a partir d'allà, analitzar i interpretar la informació per dur a terme una petita investigació científica sobre la contaminació lumínica de la meua ciutat.

Així doncs, l'objectiu d'aquest treball de recerca és analitzar i comparar la contaminació lumínica que hi ha a una vall d'una muntanya amb una zona molt propera a un nucli urbà.

A nivell pràctic, m'agradaria contribuir al coneixement i conscienciació (encara que sigui local) de l'actual problema de la contaminació lumínica, ja que considero que s'està deixant molt de banda aquesta qüestió, quan per a l'observació astronòmica, és fonamental preservar

un cel nocturn en condicions. Però no és l'astronomia l'únic àmbit afectat per la contaminació lumínica, també perjudica els ecosistemes i representa una gran despesa energètica innecessària.

Per tal de poder fer una comparativa entre un cel urbà i un de muntanya, he demanat un segon instrument que em permeti prendre dades simultànies tant a Cornellà de Llobregat com a la població d'Alinyà, a l'Alt Urgell. Prendre consciència de les diferències de la qualitat del cel d'ambdues localitzacions em pot fer plantejar quines mesures s'haurien d'aplicar per tal de reduir la contaminació lumínica a la meva població, especialment a la zona d'observació, on hi ha el fotòmetre, ja que es troba propera a un espai natural, com és el riu Llobregat.

Un altre objectiu d'aquest treball és comparar les dades obtingudes amb un model de brillantor nocturn que permeti analitzar quin és el vertader impacte de la contaminació lumínica. D'aquesta manera, es podran conèixer millor els factors a tenir en compte en cas de voler prendre mesures efectives que beneficiïn la condició lumínica nocturna de la ciutat.

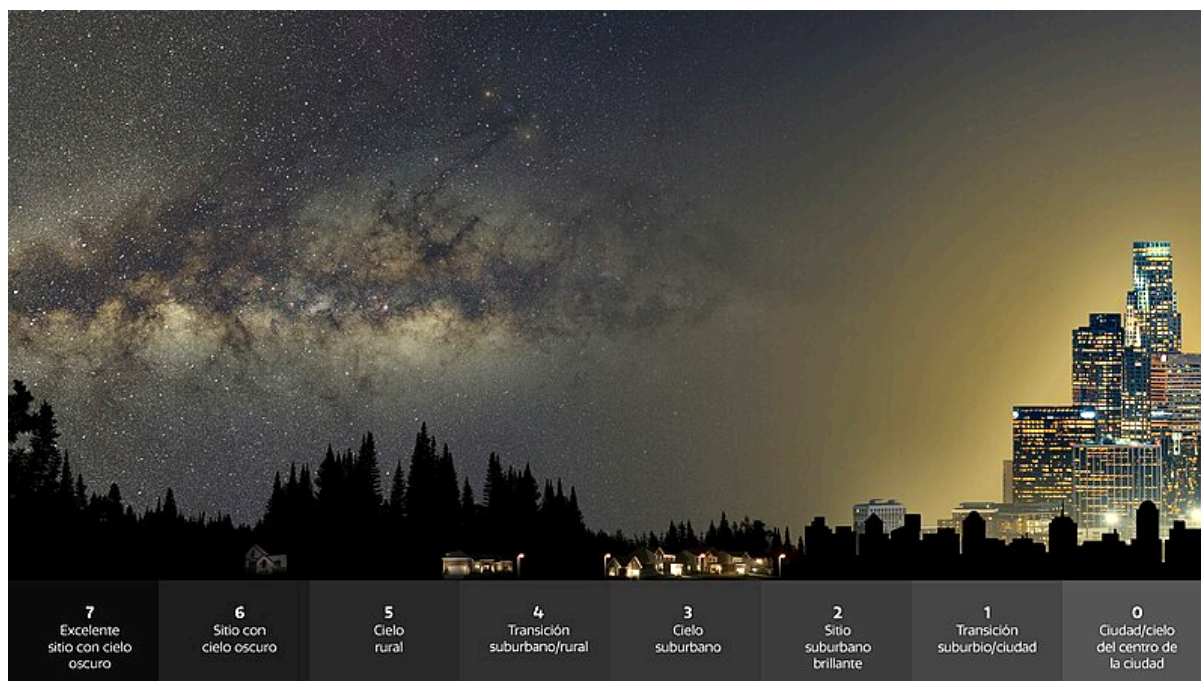
També penso que tot aquest procés de recerca em facilitarà una familiarització amb el món de l'anàlisi de dades i la investigació, a la vegada que tindrè una oportunitat de treballar amb un propòsit científic.

A part, i això ja és una reflexió més personal, poder estudiar i rebre informació sobre astres molt llunyans a l'espai sempre m'ha semblat fascinant, ja que el significat físic de l'ésser humà comparat amb la possible magnitud total de l'Univers és negligible, i tenir l'oportunitat d'analitzar coses que existeixen, però que són fora del nostre abast, és com jugar amb una joguina que no tens, donant-te la falsa sensació de que disposes de més poder del que realment disposes. I, evidentment, per poder tenir a l'abast l'Univers des de la Terra, necessitem tenir un cel fosc.

1. Contaminació lumínica

La contaminació lumínica es pot definir com l'emissió de flux lluminós de fonts artificials nocturnes i diürnes en intensitats, direccions o rangs espectrals innecessaris per a la realització de les activitats previstes en la zona en què s'han instal·lat els llums. Tot i que aquest tipus de contaminació pot existir durant tot el dia, té com a manifestació més evident l'augment de la brillantor del cel nocturn, per la reflexió i difusió de la llum artificial en els gasos i partícules de l'aire urbà. Així doncs, els seus efectes s'amplifiquen a la nit, amb el contrast de la foscor del cel.

Imatge 1. Transició d'un cel fosc i un cel amb contaminació lumínica.



Font: <https://noirlab.edu/public/media/archives/images/large/noirlab2302b.jpg>

S'estima que el 83% de la població mundial viu sota cels contaminats per la llum i que el 23% de la superfície terrestre del món es veu afectada per la resplendor del cel (*The Effects of Light Pollution on Astronomy Are Increasing*, 2023). De fet, avui en dia més del 95% de les estrelles que es veuen habitualment a ull nu són invisibles. A escala mundial, els nivells de contaminació lumínica ha augmentat almenys un 49% entre 1992 i 2017. Aquest augment és

degut a la necessitat d'elevades quantitats d'electricitat per mantenir països majoritàriament urbanitzats, com ara els Estats Units, la Xina o l'Índia.

1.1 Origen de la contaminació lumínica

La contaminació lumínica s'origina per l'emissió de llum artificial a l'atmosfera, tot i que els seus efectes poden amplificar-se davant certes condicions físiques, químiques o meteorològiques, així com: l'augment d'humitat a l'ambient (la llum es reflecteix més en les partícules d'aigua i la lluminositat del cel augmenta); l'aparició de la lluna (com més plena, més llum es reflecteix) o presència de núvols (els quals, en ser concentracions més elevades de partícules d'aigua, reflecteixen amb més intensitat els rajos de llum), entre d'altres.

1.2 Efectes adversos

La contaminació lumínica té diverses conseqüències i efectes negatius, entre els quals es troben:

- **Modificació del paisatge, els hàbitats i la conservació de la biodiversitat:** Afecta el fràgil ecosistema nocturn. Certs animals, com les papallones de nit, són molt sensibles a la contaminació lluminosa, ja que els fanals i els llums els atreuen i desorienten. També se sap que hi ha espècies d'ocells que tenen dificultats en els seus viatges migratoris per culpa de la il·luminació nocturna.
- **Malbaratament de recursos energètics i econòmics:** l'enllumenat consumeix grans quantitats d'energia i, il·luminar en excés o cap al cel innecessàriament, és llençar molta energia i els diners que aquestes suposen.
- **Perjudici a la salut humana:** la il·luminació sobre el cos humà durant més de 24 hores inhibeix la producció de l'hormona melatonina, que s'encarrega de regular els cicles dia i nit, i, per tant, de somni i vigília. Aquest efecte és provocat sobretot per la llum blanca.
- **Interferència astronòmica:** a causa de la contaminació lumínica, es generen bombolles lluminoses a les ciutats que impedeixen gaudir dels cels estelats. Aquest efecte disminueix i distorsiona la brillantor dels estels o qualsevol cos estel·lar, afectant el treball d'observatoris i astrònoms. És per això que els observatoris astronòmics importants se situen en regions allunyades de les urbs.

1.3 Tipus de mesura

En general, la contaminació lumínica es mesura en unitats de radiància espectral¹, i aquesta pot fer-se de manera directa (observant les fonts de llum), o indirecta (mesurant la llum difosa). Hi ha diversos mètodes per a mesurar aspectes relacionats amb la contaminació lumínica, així com càmeres rèflex digitals calibrades, fotòmetres, luminancímetres, etc.

Fins ara, es creia que només podia mesurar-se amb dispositius a nivell terrestre, però un estudi molt recent va demostrar que també és detectable des de l'espai. Tradicionalment, s'utilitzaven fotòmetres que feien mesures únicament a nivell local, cosa que ha limitat molt el treball de científics que s'han dedicat professionalment a analitzar la contaminació lumínica, ja que no podien prendre dades d'àrees més grans que determinessin el vertader impacte d'aquest tipus de contaminació. D'aquesta manera, la capacitat d'utilitzar satèl·lits per a l'estudi de la llum artificial a la nit és un gran avenç, perquè permet tenir accés a dades que cobreixen grans proporcions de terreny a través d'un mètode que consumeix molt menys temps. Les principals fonts de mesures en òrbita són les imatges de satèl·lit dels instruments VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*), i les imatges dels astronautes de l'ISS (*International Space Station*).

1.4 MALE i escala de BORTLE

Com que el propòsit d'aquest treball es basa en analitzar i comparar la contaminació lumínica que hi ha a una vall d'una muntanya amb una zona urbana, una de les maneres més senzilles de fer-ho és establir quina és la Magnitud Límit Estel·lar (MALE) al llarg de la nit en ambdós indrets. Aquesta magnitud, tal com signifiquen les sigles en anglès, NELM (*Naked Eye Limiting Magnitude*), indica la magnitud més alta d'estrella que es pot observar en el cel nocturn amb l'ull humà. Com que canvia depenent de la vista de cada persona, es calcula que, en general, la magnitud més elevada que es pot observar en condicions de 0 contaminació lumínica artificial ronda entre el 7 i el 8, tot i que hi ha gent que afirma haver-ne vist de més elevades (*Crumey, 2014*).

¹ Radiància espectral o intensitat específica és la radiància per unitat d'angle sòlid per unitat de freqüència o longitud d'ona emesa per una superfície.

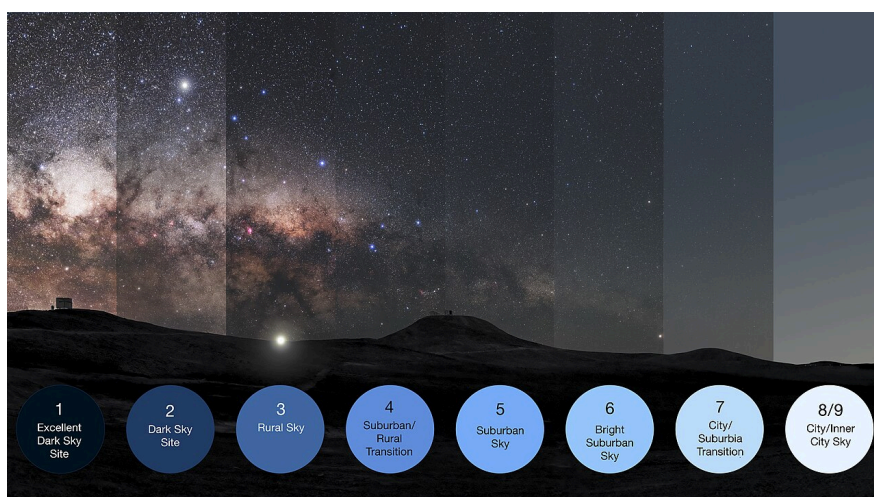
Per obtenir aquesta dada en una mesura de contaminació lumínica, primer s'ha de convertir la MPSAS (magnitud per segon d'arc quadrat), el qual indica la magnitud aparent o la brillantor d'una àrea de cel d'un segon d'arc al quadrat, utilitzant una fórmula establerta a la comunitat científica i que es mostra a la imatge 2.

Imatge 2. Fórmula de la Magnitud Límit Estel·lar (Naked Eye Limiting Magnitude)

$$NELM = 7.93 - 5 \cdot \log\left(10^{(4.316 - (Bmpsas/5))} + 1\right)$$

Gràcies al valor resultant, es pot conèixer el nombre d'estrelles que es podran veure al cel nocturn d'aquell indret, permetent-nos així classificar la condició de contaminació lumínica dins de l'escala de Bortle (imatge 3). Aquesta és una escala de 9 nivells que mesura la brillantor del cel nocturn. Així doncs, quantifica l'observabilitat astronòmica de cossos celestes i la interferència ocasionada per la contaminació lumínica. L'escala va des del nivell 1, que serien els cels més foscos que es poden trobar a la Terra, fins al nivell 9, que es troba en les zones més urbanitzades. Cada nivell té les seves característiques i condicions, i la diferència entre algunes classes pot ser dràstica, com per exemple entre la 4 i la 5 (Bortle, 2006).

Imatge 3. “Representation of the Bortle scale” - M.Wallner, European Southern Observatory (ESO)

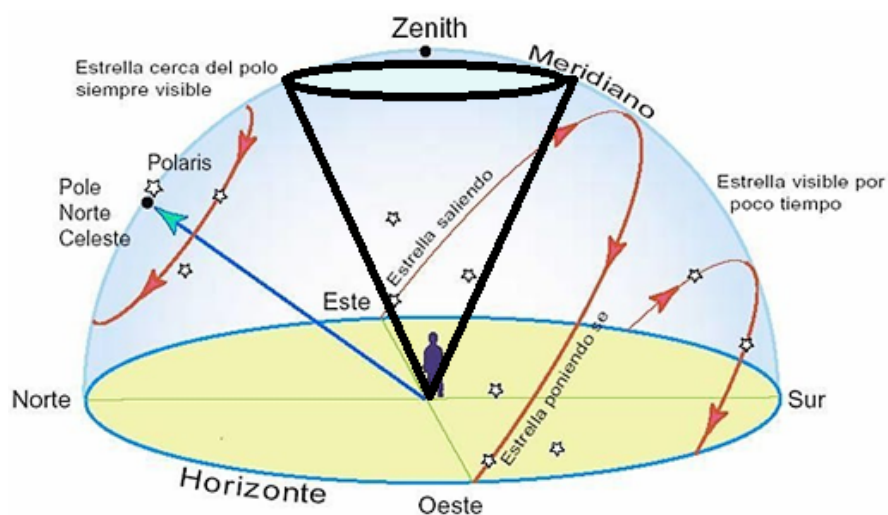


Font: <https://www.eso.org/public/about-eso/dark-skies-preservation/>

2. Fotòmetre FreeDSM

El fotòmetre que es farà servir és de baix cost, facilitat pel projecte Gaia4Sustainability, coordinat pel CITIC de la Universidad de A Coruña i la Universitat de Barcelona. S'anomena FreeDSM i mesura la contaminació lumínica en una àrea de cel a l'entorn del zenit corresponent a un con d'observació de 60° d'obertura (imatge 4), de manera directa, estandarditzada i accessible per a tota la ciutadania. (*FreeDSM – Gaia4Sustainability, n.d.*)

Imatge 4. Representació aproximada del con d'observació del FreeDSM.



El projecte Gaia4Sustainability té com a objectiu fomentar la participació ciutadana en la recopilació de dades sobre contaminació lumínica. El dispositiu FreeDSM (imatge 6), de fàcil fabricació i baix cost, estarà disponible per a institucions educatives, administracions públiques, empreses d'astroturisme i ciutadans interessats a contribuir a la ciència. Aquesta iniciativa busca conscienciar a la població sobre el problema de la contaminació lumínica i promoure un canvi d'actitud envers una il·luminació més responsable.

Imatges 5 i 6. Logo del projecte “Gaia4sustainability” i mostra del fotòmetre FreeDSM

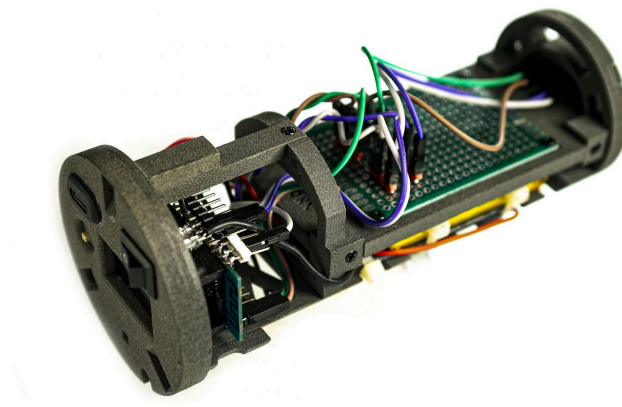


Font: <https://gaia4sustainability.eu/freedsm/>

2.1 Components del detector

L'aparell FreeDSM es pot fabricar de manera casolana seguint els passos explicats al portal oficial del programa Gaia4Sustainability (Dafonte, 2024). Els components necessaris per construir l'aparell són força accessibles i assequibles, i algunes de les parts petites del xassís es poden imprimir en qualsevol impressora 3D. Resisteix les condicions meteorològiques adverses sense dificultats i és relativament petit, el que permet el seu ús portàtil, un aspecte essencial per a dur a terme el meu treball.

Imatge 7. Estructura interna del fotòmetre FreeDSM.



Font: <https://gaia4sustainability.eu/freedsm/>

Els seus components més rellevants són: el sensor d'ambient AHT2x, i el sensor lumínic Osram TSL2591, que té dos díodes, un fa mesures en el rang d'infrarojos, i l'altre en tot l'espectre. Gràcies a aquests sensors, l'aparell pot mesurar els nivells de brillantor i les condicions del seu voltant.

2.2 Variables i magnituds mesurables

El FreeDSM permet mesurar diferents variables que ajuden a determinar la qualitat del fons del cel durant les observacions nocturnes. A partir de la combinació de les dades proporcionades pels dos díodes del Osram TSL2591, es calculen les mesures de MPSAS cada minut (vegeu apartat 1.4). Per últim, el mateix fotòmetre efectua una modificació al valor per calibrar-ho amb les mesures d'altres fotòmetres estàndard, afegint, a part del ja existent "mpsas_raw", la seva versió calibrada, "mpsas_cal".

Adicionalment, també mesura la temperatura i la humitat (gràcies al AHT2x), a més del punt de rosada, que és la temperatura a la qual s'ha de refredar l'aire per què el vapor d'aigua es condensi en rosada. De totes maneres, aquestes variables, tot i que l'aparell les tingui en compte, no seran massa útils per l'anàlisi que es farà en aquest treball.

Cal tenir en compte que al cel existeixen altres variables com l'"Airglow", la llum zodiacal, la grossor òptica dels aerosols, etc. Però l'aparell no és capaç de diferenciar tots aquests factors, simplement detecta la MPSAS, que és el resultat total de la contaminació lumínica en l'àrea de mesura (*Masana et al., 2020*).

2.3 Procés d'instal·lació

Per poder començar a prendre les dades a partir de les quals es realitzarà el treball, s'havia de gestionar on i com instal·lar el fotòmetre, tenint en compte la il·luminació de la zona, l'accessibilitat i altres aspectes a considerar. Finalment, es va decidir col·locar-ho en un indret on es podia accedir a l'aparell durant tot el temps de la presa de dades, un lloc elevat i sense fanals a prop. La ubicació també és idònia, pel fet que es troba als afores del nucli urbà i proper a l'entorn natural del riu Llobregat.

Així doncs, després de fer nombroses proves de connexió, finalment el dia 14 de juny de 2024 el fotòmetre va començar a recopilar dades durant el cap de setmana. Malauradament, aquest primer intent no va sortir massa bé, ja que la bateria es va esgotar la primera nit i es van perdre les dades d'aquell cap de setmana, exceptuant part de la nit del divendres.

Per tal d'evitar el problema de l'esgotament de la bateria, vam haver d'aconseguir un cable USB tipus C de 10 metres de longitud. Finalment, es va aconseguir connectar-lo a l'aula d'informàtica, la qual es troba just a sota. Ara el dispositiu rep corrent de manera contínua.

Per tal de poder col·locar l'instrument ben fixat, es va haver de retirar un antic anemòmetre i utilitzar unes brides per subjectar el fotòmetre. D'aquesta manera, va poder suportar totes les condicions meteorològiques que van ocórrer al llarg de l'estiu (pluges, vent, etc.).

Imatge 8. FreeDSM bridat el dia 14 de juny de 2024



Donat que hem pogut aconseguir un segon instrument, l'hem portat a una zona muntanyosa de l'Alt Urgell per tal de prendre dades i comparar-les amb les dades de Cornellà. La idea és establir de manera permanent els dos instruments en aquests punts d'observació per prendre mesures continuades aprofitant el mode *Online*, però per la realització d'aquest treball de recerca, s'ha decidit buidar les dades exclusivament de manera local, i deixar l'alternativa de l'emissió de dades en continu com a proposta de possible treball a futur.

L'instrument a Alinyà es va ubicar en un terreny allunyat dels principals focus de contaminació lumínica del poble, per garantir així una mesura precisa del cel nocturn d'alta muntanya.

Imatge 9. FreeDSM a Alinyà el dia 22 de juny de 2024



3. Procés de mesura i conversió

Per tal de poder rebre les dades, emmagatzemar-les i posteriorment tractar-les, fa falta consultar cada dia l'aparell i seguir una sèrie de passos, ja que aquest té un màxim d'espai per arxius a l'hora de prendre els registres en continu. Per tant, és essencial configurar manualment el seu reseteig per evitar perdre informació sobre determinades franges de la nit.

3.1 Rebuda de les dades i reseteig de l'aparell

Primer de tot, un cop dins de l'àrea on arriba el senyal del FreeDSM, amb un dispositiu prèviament vinculat a l'aparell mitjançant una direcció IP general, s'han de compartir dades per tal de facilitar-li a l'aparell una connexió a la xarxa

Un cop connectat, s'ha d'accedir des del mateix dispositiu que està compartint dades a la direcció IP que genera la compartició d'aquestes (la qual es pot consultar a la finestra d'informació dins de l'aplicació de configuració de connexions compartides) amb el navegador web. A l'accedir-hi, el primer que apareix és el “*Main Menu*”, des d'on s'haurà d'entrar a la secció “*Consoles*”. Un cop dins, premem el botó de “*Manage File System*” per accedir al panell amb els arxius existents a l'aparell. Si el que desitgem és descarregar l'arxiu del registre de la nit anterior, simplement haurem de prémer el nom de l'arxiu, de color blau, que tindrà la següent estructura: 2024-YY-XXTZZ_ZZ_ZZ.txt, on YY és igual al mes, XX es refereix al dia, i ZZ_ZZ_ZZ és l'hora (en UTC) del reseteig, és a dir, quan l'aparell ha generat un nou arxiu on registrar les dades que prengui. Així doncs, si per exemple l'arxiu s'anomena “2024-07-22T18_55_34.txt”, significarà que es correspon al registre de la nit del 22 al 23 de juliol, i que el reseteig es va efectuar el 22 a la tarda.

Un cop descarregat l'arxiu i assegurant que el tenim localitzat, haurem de prémer el botó de l'emoji de foc (🔥) per tal d'eliminar-lo de l'aparell. Darrerament, ens tornarem a dirigir a la secció de “*Main Menu*”, però aquesta vegada premerem el botó “*Reset*”, l'únic que és vermell. Després de confirmar el reseteig, haurem d'esperar uns quants segons, fins que a la secció de “*Manage File System*” aparegui un nou arxiu, amb la data actual al nom i una mida

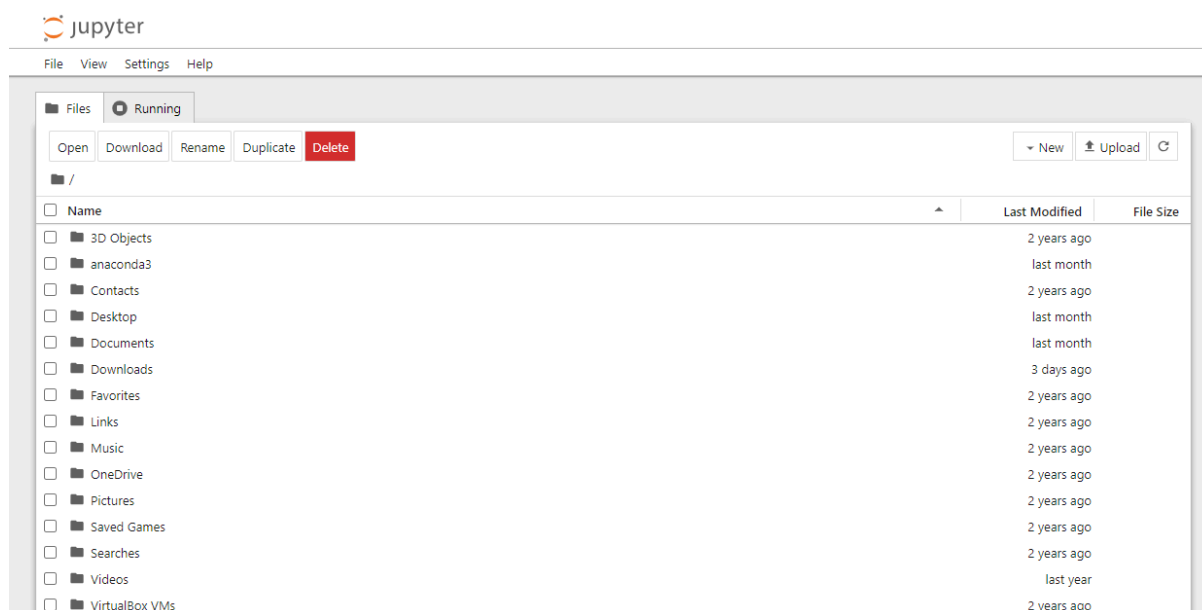
molt més petita que l'anterior, indicant que torna a prendre dades, però amb tot l'espai de l'arxiu lliure.

3.2 Codi de formateig i organització dels arxius

Per a poder introduir les dades a *TOPCAT*, el programari que ens facilitarà la seva graficació, primer s'hauran de convertir els arxius .txt a un tipus que pugui interpretar. En aquest cas, com que el programari treballa amb dades estructurades en format de taules, doncs es necessita el tipus d'arxiu que les organitza així, és a dir, el .csv. No obstant, per tal de dur a terme aquesta conversió, cal seguir una sèrie de passos.

En primer lloc, és recomanable organitzar tots els arxius .txt en una mateixa carpeta localitzada i amb un patró de nomenament, ja que agilitzarà molt el procés de conversió. Així mateix, es requereix disposar d'una plataforma intèrpret de *Python* que permeti utilitzar el codi amb el que es podrà efectuar aquesta conversió, i que s'haurà descarregat a la mateixa carpeta on se situen tots els arxius de les dades. Les opcions més recomanables per plataformes són: “*Jupyter Notebook*” o “*Anaconda*”. Un cop s'hagi efectuat la seva instal·lació, s'haurà d'executar en el navegador escollit per defecte i mostrarà així un menú on quedaran a disposició tots els fitxers de l'usuari en qüestió (imatge 10).

Imatge 10. Directori de carpetes en Jupyter Notebook.



A continuació, caldrà accedir a la carpeta on siguin els arxius .txt i executar el fitxer que contingui el [codi](#). Així doncs, sortirà en una altra pestanya, on hauré d'editar la línia on posa "filename=", posant entre cometes ("") el nom de l'arxiu per a dur a terme la conversió executant el programa.

Imatge 11. Fragment del codi de conversió dels arxius .txt.

```
[67]: import pandas as pd
import numpy as np
import math
import datetime
from datetime import datetime, timedelta

filename="2024-08-08 [REDACTED]" ←
df=pd.read_table(filename+".txt",sep="|", comment='#',names=['i01','i02','i03',
'i04','i05','i06',
'i07','i08','i09',
'i10','i11','i12',
'i13','i14','i15',
'i16','i17','i18',
'i19','i20','i21',
'i22','i23','i24',
'i25','i26','i27',
'i28','i29','i30'])
```

Cal tenir en compte que el codi no sap interpretar la primera línia que es genera per defecte al fer el reseteig i que té aquesta aparença:

v|Fw2.4Sc2.4.5|t|-----T--:--:--|a|1|j|[0,0,0,0,0,0]|g|[0,0,0,0,0,0]|l|0|m|23|n|23|r|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|35|h|37.3|d|18.3|b|2669|q|100. Així doncs per evitar un error del programa, s'ha d'eliminar aquesta primera línia, ja que tampoc conté informació important sobre l'arxiu.

A més de canviar el tipus informàtic de l'arxiu, el programa també efectua la conversió de MPSAS a MALE, amb la fórmula adient (vegeu apartat 1.4), el qual ens serà útil a l'hora de crear els gràfics a partir dels quals s'efectuarà l'anàlisi posterior de les dades.

Imatge 12. Fragment del codi de conversió de MPSAS a MALE.

```
df["male_raw"] = 7.93-5*np.log10(10**(4.316-df['mpsas_raw']/5)+1)
df["male_cal"] = 7.93-5*np.log10(10**(4.316-df['mpsas_cal']/5)+1)
```

Per comprovar si s'ha executat correctament, es pot consultar des de l'explorador de fitxers si a la carpeta on es trobava l'arxiu que s'ha convertit hi ha aparegut un de nou amb el mateix nom però en format .csv.

Imatge 13. Diferència del tipus d'arxiu dins de la carpeta on s'efectua la conversió.

 2024-07-22-████.csv	18/8/2024 16:57	Full de càlcul de l'...	71 kB
 2024-07-22-████.txt	18/8/2024 16:36	Document de text	220 kB

4. *Graficació i anàlisi de les dades*

Ara que ja es disposa del tipus adient d'arxiu, el següent pas serà introduir-lo al programari que ens permetrà graficar la informació i, així, poder efectuar l'anàlisi de la MALE de cada nit, que ens facilitarà la classificació dels cels dins de l'escala de BORTLE i la comparació dels resultats amb el model generat per la simulació de GAMBONS.

4.1 Què és TOPCAT?

TOPCAT és un visualitzador gràfic interactiu i editor de dades tabulars. El seu objectiu és proporcionar la majoria de les eines que els astrònoms necessiten per a l'anàlisi i la manipulació dels catàlegs de fonts i altres taules, encara que també es pot utilitzar per a dades no astronòmiques. Entén diferents formats d'importància astronòmica (inclosos FITS, VOTable i CDF) i es poden afegir més formats. És especialment bo en l'exploració interactiva de taules grans (multimilions de files, moltes columnes).

Imatge 14. Logotip del programari TOPCAT.



Tal com indica el nom del programa: “*Tools for OPERations on Catalogues And Tables*”, ofereix una varietat de maneres de veure i analitzar les taules, incloent un navegador per a les dades de la cel·la pròpiament dita, visors per a informació sobre les metadades de la taula i la columna i instal·lacions per a la visualització interactiva sofisticada en 1D, 2D, 3D i de dimensió superior, càlcul d'estadístiques i taules d'unió utilitzant algoritmes flexibles de concordança. Utilitzant un potent i extensible llenguatge d'expressió basat en Java, es poden definir noves columnes i seleccionar subconjunts de files per a una anàlisi separada. Les dades de la taula i les metadades es poden editar i la taula modificada resultant es pot escriure en una àmplia gamma de formats de sortida.

Es tracta d'una aplicació independent que funciona de forma eficient sense connexió a la xarxa. No obstant això, degut a que utilitza els estàndards de l'Observatori Virtual (VO), pot cooperar amb altres eines, serveis i conjunts de dades en el món del VO i més enllà. (Taylor, M. 2020)

4.2 Instal·lació del programa

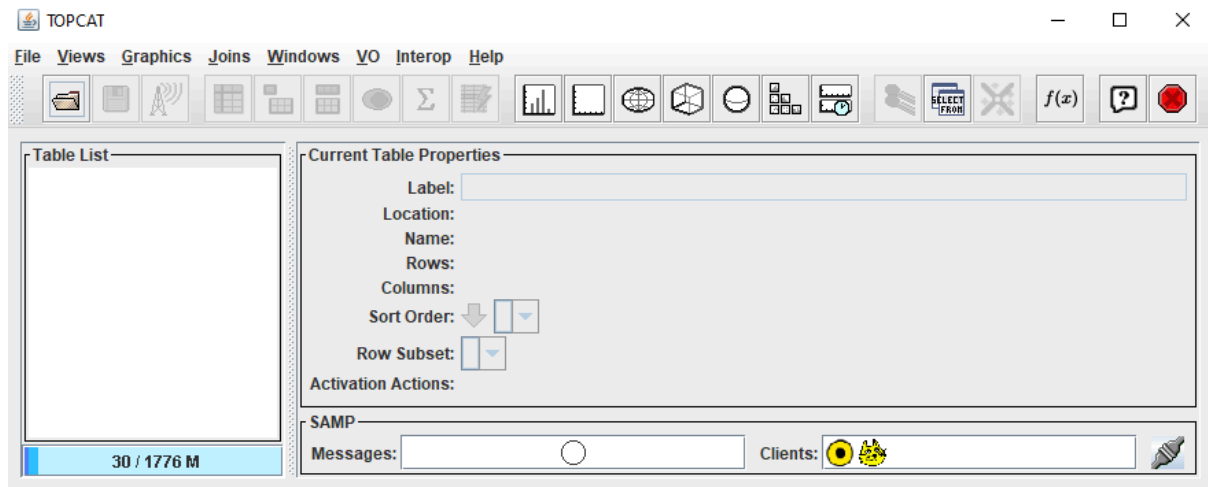
Per poder executar el programa, prèviament s'ha hagut efectuat la seva adquisició a través de la seva pàgina web: <https://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>, on accedint a la secció “Downloads” es descarregà directament l'executable del programari.

Imatge 15. Diferència de les versions descarregables de TOPCAT.

- [topcat-full.jar](#) (30.7M) - standard version
- [topcat-extra.jar](#) (51.0M) - bloated version including Parquet file format support

Cal tenir en compte que per la realització d'aquest treball, és indiferent quin tipus d'arxiu es descarregui, ja que tots dos contenen el material essencial per efectuar la graficació de totes les dades. Una altra cosa a tenir en compte és que a mesura que passa el temps, es van publicant noves versions del programari, pel que és recomanable descarregar la versió actual en cas de que ja es disposi d'una versió antiga.

Un cop descarregat el tipus d'arxiu que plagui, el següent pas serà executar-lo directament des del directori on s'hagi descarregat, obrint així el menú principal del programari.

Imatge 16. Menú principal del programari TOPCAT.

4.3 Introducció dels arxius i procediment inicial

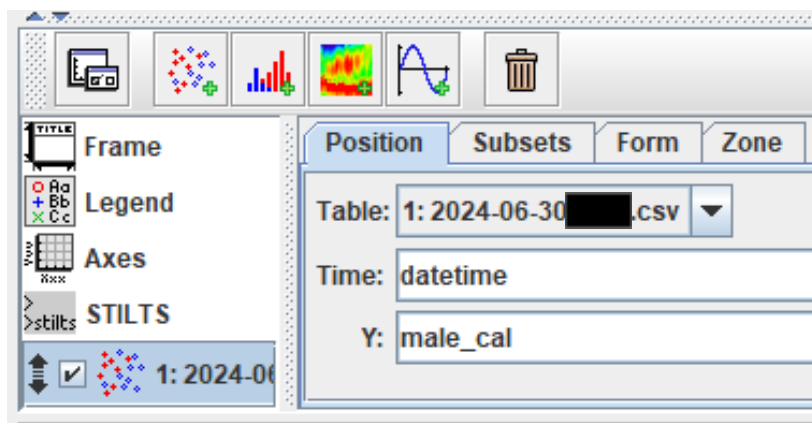
Per poder introduir els arxius al programari, primer s'ha d'accedir a la icona de la carpeta, que és l'opció de carregar una taula (Load Table). Un cop allà, es navega pels directoris del sistema fins arribar a seleccionar els arxius .csv que es vulguin graficar.

Imatge 17. Procés de pujada dels arxius .csv.

Un cop ja s'ha pujat l'arxiu, se selecciona l'opció de gràfic de temps (Time Plot) i s'obrirà una altra pestanya amb un gràfic que té com a variable de l'eix d'abscisses el temps, que en aquest cas el fotòmetre emmagatzema com UTC (Temps Universal Coordinat), pel que numèricament mostrarà un valor amb 2 hores de retard.

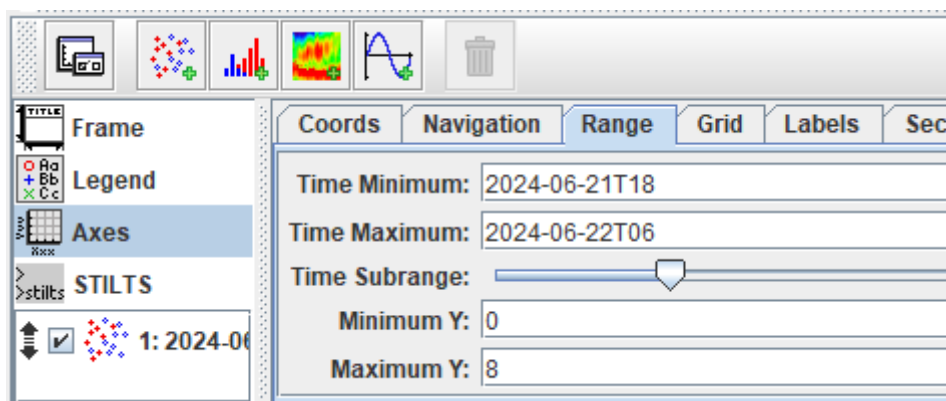
A partir d'aquí, s'han d'efectuar una sèrie de canvis als ajustaments en relació al format i dades de la gràfica. En el cas d'aquest treball de recerca, es necessita, en primer lloc, establir com a variable de l'eix de les ordenades el “male_cal”.

Imatge 18. Configuració adient del les variables dels eixos de coordenades.



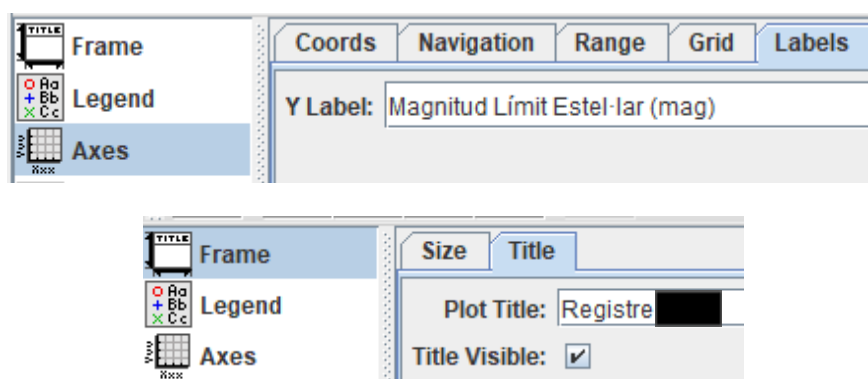
A continuació, s'han d'establir els límits de cada eix perquè a l'hora de generar múltiples gràfiques totes comparteixin les mateixes franges de temps i de MALE. Per tant, en l'apartat “Range” dins de “Axes”, el mínim i màxim de temps serà del dia que s'estigui graficant, 2024-XX-XXT18 I 2024-XX-XX(+1)T06 respectivament, i el de la MALE 0 i 8 respectivament també.

Imatge 19. Configuració adient dels paràmetres de cada eix.



Per últim, en l'apartat de "Labels", es pot modificar el títol de l'eix d'ordenades per aclarir que es tracta de la magnitud límit estel·lar. A més, en la secció "Frame" trobarem una opció anomenada "Title", que ens permetrà posar-li un títol a la gràfica que la diferenciï segons l'indret de mesura, per exemple.

Imatges 20 i 21. Titulació de l'eix d'ordenades i del gràfic.



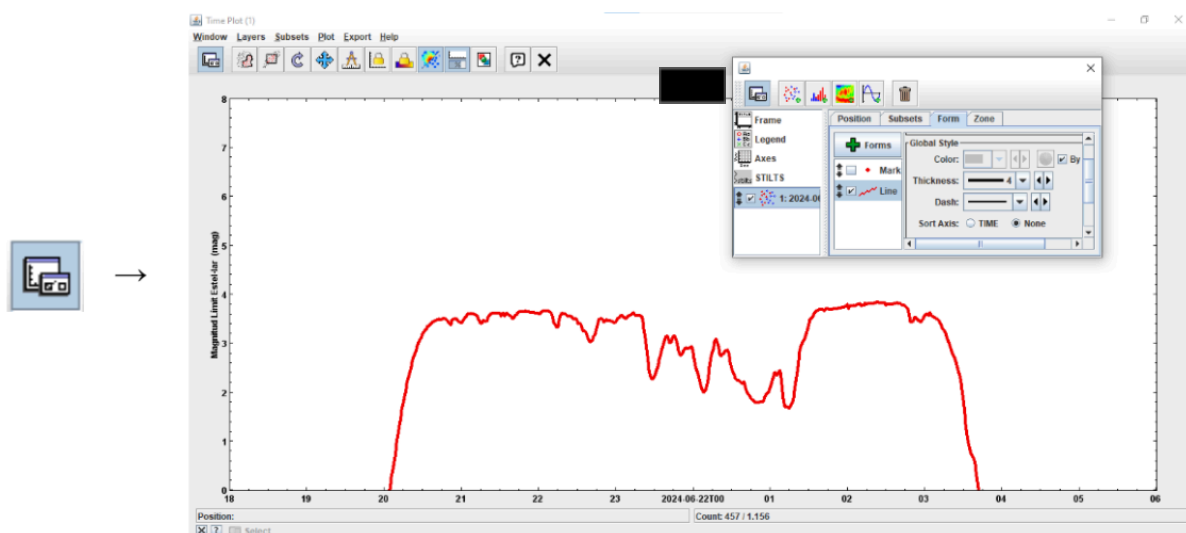
A part d'aquestes mesures fonamentals, també es poden modificar altres paràmetres per millorar l'aspecte estètic. Com que això depèn del gust de cadascú i no afecta els resultats, no fa falta tenir-ho en compte de manera estricta. Sigui com sigui, en el cas d'aquest projecte, s'ha modificat la font a tipus "Antialias", el seu tamany a 22, i el "Weight" a "Bold" per marcar-ho en negreta. Per finalitzar, pel que respecta al format de les línies, a l'apartat "Forms" se selecciona l'opció "Add Line", que unirà les diferents mesures amb una línia. L'únic que falta és descartar l'opció de "Mark" perquè només es mostrin les línies. Dins d'aquest format, es pot modificar la grossor "Thickness" de la línia, en aquest cas, s'ha seleccionat a 4.

4.4 Exportació i resultats gràfics

Ara que ja es té la configuració adient per generar els gràfics, només falta exportar-los com a imatges (.jpg). Per realitzar això, és summament important aplicar el mateix procediment en totes les gràfiques, ja que d'això depèn que les dimensions de la imatge siguin sempre iguals.

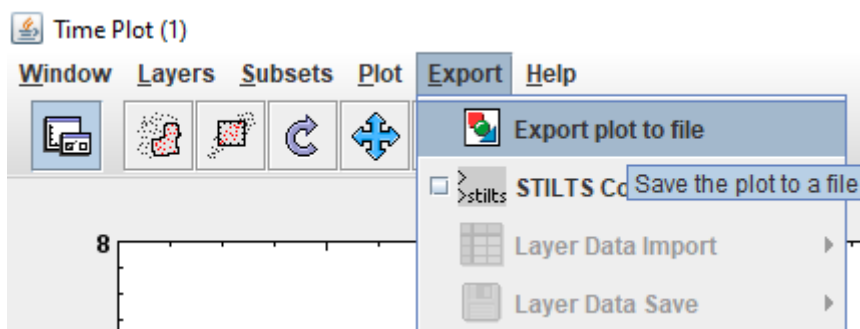
Per començar, cal separar el panell de configuració del gràfic. En prémer el següent botó, es generarà una finestra a part que permetrà que el gràfic ocupi més espai. Així, a l'hora d'exportar l'arxiu, tindrà una millor resolució gràcies a les dimensions.

Imatge 22. Separació del panell de configuració amb l'espai del gràfic.



Ara que ja tenim les dimensions adients del gràfic, el següent pas serà efectuar l'exportació. A la secció "Export" dins de la pestanya del gràfic, s'ha de seleccionar l'opció d'exportar el gràfic com a arxiu. Un cop allà, es navega fins trobar la carpeta on es vol guardar la imatge i se li posa el nom adient (ex. 2024-06-22-XXXXXXXXXX.jpg). Molt important afegir el ".jpg" al final, així el format de l'arxiu sempre serà d'imatge.

Imatge 23. Direcció de l'opció d'exportació del gràfic.

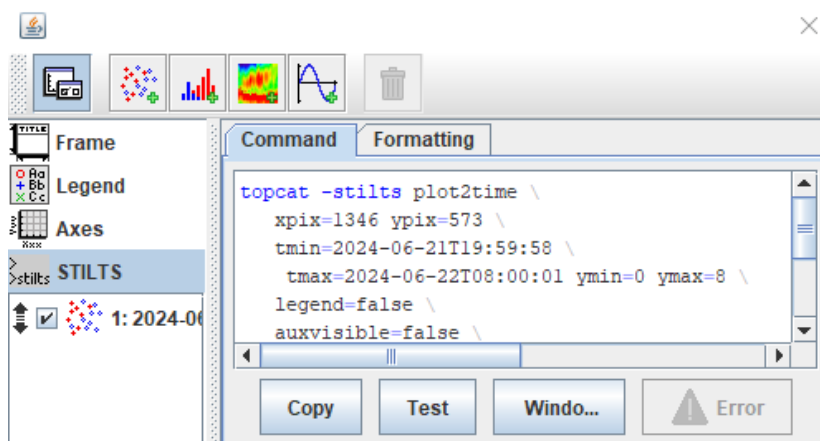


4.5 Alternativa amb STILTS

Com es pot suposar, realitzar aquest procediment amb cadascun dels dies en què hi ha dades pot ser excessivament repetitiu, i, en conseqüència, una pèrdua de temps a nivell pràctic. Així doncs, es pot aprofitar la característica “STILTS” dins de TOPCAT per generar una ordre que generi les gràfiques de manera automàtica a l’indicador d’ordres (cmd).

El significat de STILTS és “Starlink Tables Infrastructure Library Tool Set” i és un conjunt d’eines de línia d’ordres basat en STIL (“Starlink Tables Infrastructure Library”). S’ocupa del tractament de dades tabulars; el paquet s’ha dissenyat per taules astronòmiques com ara catàlegs de font, tot i que no es limita exclusivament a això. Algunes de les eines són genèriques i poden funcionar en diversos formats, d’altres són específiques del format VOTable. STILTS és la contrapartida de línia d’ordres de l’eina d’anàlisi de taules GUI TOPCAT. El paquet és robust, està totalment documentat i dissenyat per a l’eficiència, especialment amb conjunts molt grans de dades, com bé s’ha mencionat anteriorment (Taylor, 2020).

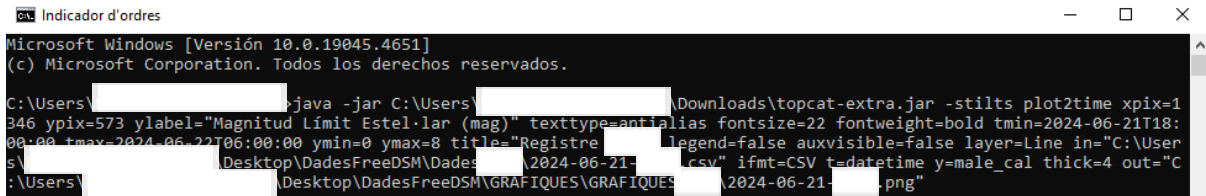
Imatge 24. Secció de STILTS dins de TOPCAT.



A l’hora de redactar l’ordre, com que el programari interpreta el llenguatge Java, s’haurà de fer ús d’aquest per indicar-li tots els paràmetres per tal de generar la gràfica, així com el tipus, les dimensions de la imatge, els títols dels eixos i del gràfic en si, el tipus de font i el seu

tamany, el màxim i el mínim de cada eix, etc. Per últim, només falta indicar-li de quin directori ha d'extreure l'arxiu .csv i a quin haurà de generar el gràfic.

Imatge 25. Exemple d'ordre per executar el STILTS de TOPCAT.



```
Indicador d'ordres
Microsoft Windows [Versión 10.0.19045.4651]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\>java -jar C:\Users\Downloads\topcat-extra.jar -stilts plot2time xpix=1
346 ypix=573 ylabel="Magnitud Límit Estel·lar (mag)" texttype=antialias fontsize=22 fontweight=bold tmin=2024-06-21T18:
00:00 tmax=2024-06-22T06:00:00 ymin=0 ymax=8 title="Registre" legend=false auxvisible=false layer=Line in="C:\User
s\Desktop\DadesFreeDSM\Dades_2024-06-21.csv" ifmt=CSV t=date y=male_cal thick=4 out="C
:\Users\Desktop\DadesFreeDSM\GRAF IQUES\GRAF IQUES_2024-06-21.png"
```

4.6 Model de brillantor nocturn (GAMBONS)

Per tal de contribuir a l'estudi de la contaminació lumínica, el projecte Gaia4Sustainability va desenvolupar "GAMBONS" (*GAia Map of the Brightness Of Natural Sky*), un model de brillantor nocturn basat en les dades del satèl·lit Gaia, de l'Agència Espacial Europea (ESA), que serveix per comparar les mesures del FreeDSM.

Imatge 26. Logotip del projecte del model de brillantor nocturn.



Aquest és un model de la brillantor natural del cel nocturn sense núvols ni lluna i, com ja s'ha esmentat amb anterioritat, està basat en la resplendor estel·lar extraatmosfèrica obtinguda del catàleg de Gaia, i per les estrelles més brillants no incloses en aquest, s'utilitza, en canvi, el catàleg "Hipparcos" per complementar dita informació. Després d'afegir-li a la resplendor estel·lar els efectes de la llum difusa galàctica, la llum zodiacal i la resplendor atmosfèrica, i tenint en compte els efectes de l'atenuació i la dispersió atmosfèriques, s'estima la radiància detectada pels observadors terrestres. No obstant, de moment no s'inclouen els efectes de la Lluna i el Sol, però s'està treballant per desenvolupar un sistema fix que en el futur sí els pugui tenir en compte. (Masana, 2020)

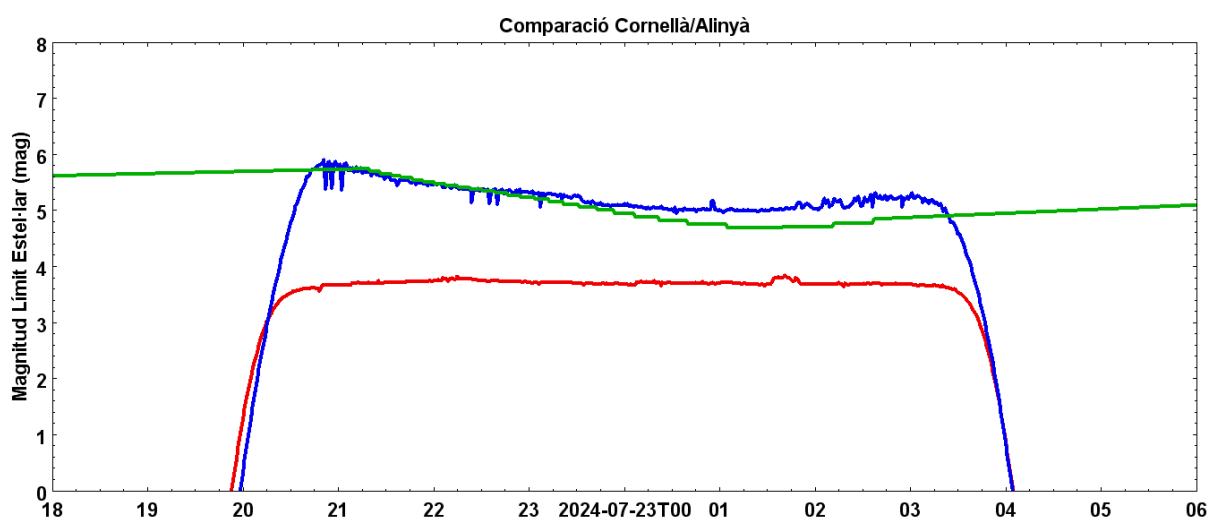
L'ús del model de brillantor nocturn basat en les dades de Gaia, amb el que es compararan les mesures fetes de la contaminació lumínica mitjançant FreeDSM, permetrà obtenir una avaluació més completa i precisa de l'impacte de la llum artificial en els ecosistemes. Aquesta informació serà fonamental per prendre mesures idònies que redueixin la contaminació lluminosa i promoguin sistemes d'il·luminació més eficients, respectuosos amb el medi ambient i segurs per a la salut humana.

Així doncs, es farà ús d'un prototip d'aquest model facilitat per Eduard Masana, un investigador de la Universitat de Barcelona, on sí que s'ha pogut incloure un avenç de l'efecte de la lluna sobre les dades del model. Gràcies a aquesta eina, es podrà tenir una evidència més clara sobre la vertadera influència de la lluna en les nostres mesures, aclarint així si els resultats es deuen a factors naturals o artificials. Les mesures del prototip duren des de l'1 de juny fins al 31 d'agost, i a l'hora de representar-les en la gràfica fa falta calibrar-les perquè no excedeixin les mitjanes més altes d'alguns registres, com els d'Alinyà. Aquest valor és de 0'2 punts de MALE i s'aplica tant a Cornellà com a Alinyà, ja que ambdós indrets es troben en zones molt properes, i la diferència de MALE natural entre aquests és quasi negligible.

5. Anàlisi dels resultats

Un cop s'han efectuat totes les mesures al llarg de l'estiu, es diferenciaran entre els dos llocs de mesura, per tal de comparar i identificar més fàcilment les diferències segons des d'on es prenen les dades.

Imatge 27. Exemple de gràfic de les mesures obtingudes pel FreeDSM (vermell i blau) i del model de GAMBONS (verd).



En les gràfiques, tal com es mostra en la imatge 27, es presentarà en color vermell el càlcul minut a minut de la MALE obtinguda a partir de les mesures del FreeDSM, i en color blau les d'Alinyà, totes dues en contrast amb la MALE que prediu el model GAMBONS, representat en color verd, amb el qual es dona una mesura de la foscor nocturna tenint en compte les fonts de contaminació lumínica natural com són la lluna, la llum zodiacal, la llum dels estels i planetes, etc. La diferència entre les dues gràfiques correspondrà a la contaminació lumínica purament antropogènica que es produeix a la zona d'observació.

Cada registre de dades² ha estat acompanyat d'anotacions de fets destacables com la presència de pols a l'ambient, la nuvolositat, les activitats de lleure com festivitats o partits de futbol (als centres esportius propers), etc. Aquestes observacions pretenen ajudar a entendre

² Enllaç a excel: [REGISTRES](#). ✖Degut a les directrius d'aquest programa i per tal d'amagar la identitat de l'autor d'aquest treball, s'adjunta un PDF en lloc del full de càlcul original✖

els fenòmens de variació d'il·luminació nocturna detectats, deguts suposadament a contaminació lumínica d'origen antropogènic.

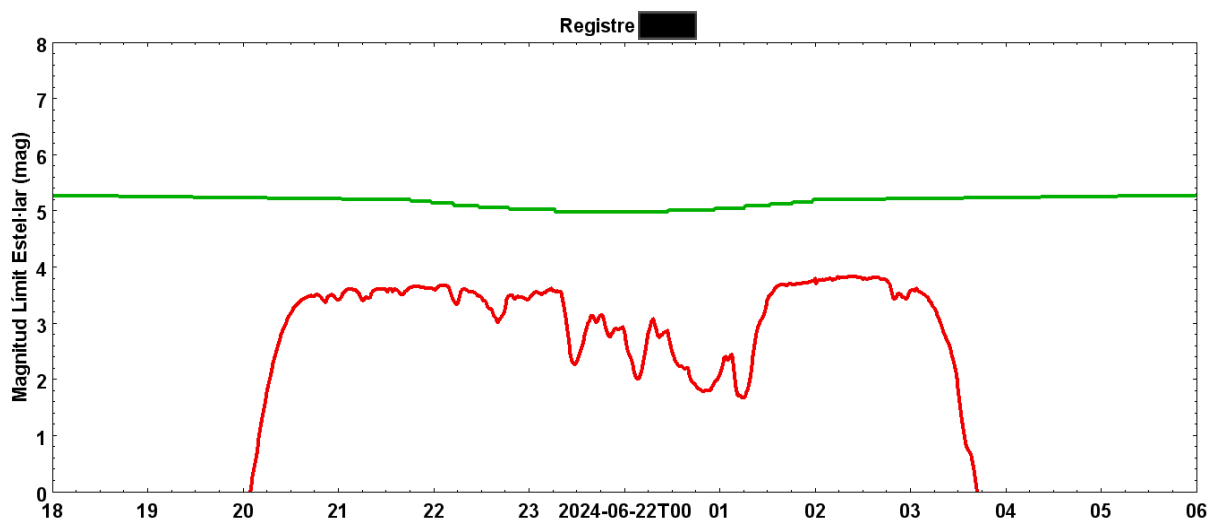
Amb l'objectiu de determinar les causes que alteren la foscor natural a la zona d'ubicació del fotòmetre a Cornellà, es mostraran les gràfiques més significatives i s'analitzaran els possibles motius de les variacions respecte de la previsió del model. Per tenir la informació completa, es poden consultar totes les gràfiques a l'apartat d'Annexos d'aquest treball.

5.1 Cornellà

Les mesures a Cornellà de Llobregat van començar el 14 de juny de 2024, però a causa dels diversos errors de les primeres proves (mencionats anteriorment en l'apartat 2.3), no es van registrar correctament les dades fins al 21 de juny. A partir d'aquest dia, es van tenir en compte les diferents condicions meteorològiques i d'ambient per poder donar-li un sentit als resultats i poder explicar-los.

Els primers dies, just donava la casualitat que **la lluna es trobava en fase de lluna plena**, i ja de partida es pot percebre una clara diferència entre els valors previstos pel model (gràfica en verd) i les mesures del FreeDSM (en vermell), així com les variacions dels valors al llarg de la nit.

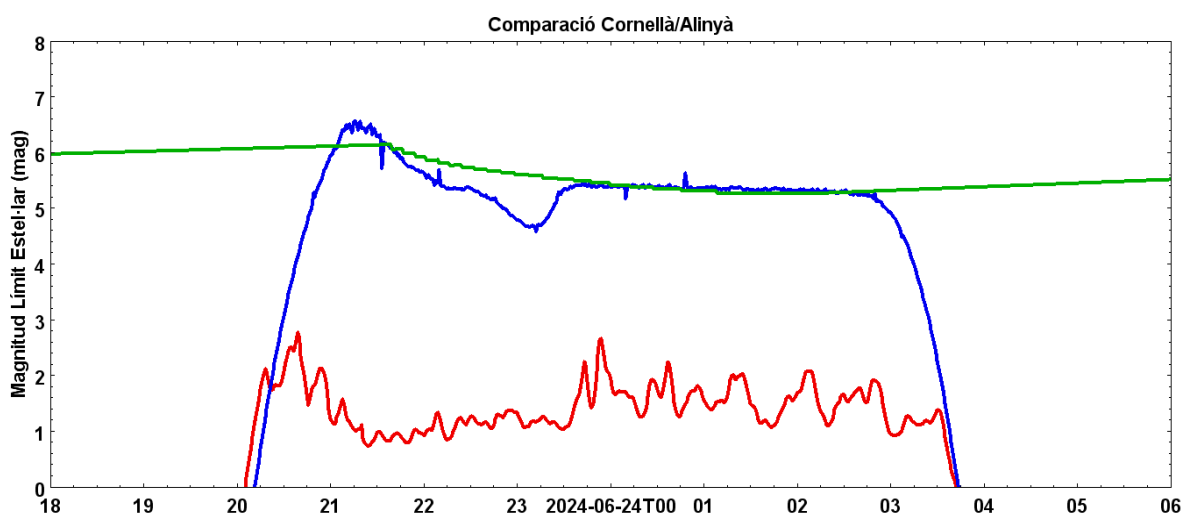
Imatge 28. Registre de la contaminació lumínica registrada el dia 21 de juny de 2024 (vermell) i comparació amb els valors esperats pel model de GAMBONS (verd).



Posem per exemple la gràfica del 21 de juny, on la lluna es trobava al 98'85% de la seva il·luminació total. Els registres de l'IGN indiquen que la lluna va sortir per l'horitzó a les 21:34h i que es va posar cap a les 5:11h de la matinada del dia següent. Tenint en compte que l'aparell mesura 60° d'arc respecte la zona zenital, inicialment es podria suposar que la davallada i pics observats a la gràfica de les dades FreeDSM es podrien atribuir a l'ascens de la lluna i l'augment de la brillantor per aquest motiu, però tal com es pot veure a la simulació GAMBONS, la lluna explica una lleugera disminució de la MALE, però no prou significativa com per poder justificar les dades observades. Donat que es tracta d'un dia amb un percentatge de cel ennuvolat important, ens podríem decantar per pensar que **la llum reflectida pels núvols** han causat aquesta disminució del MALE entre les 01h i les 03h (les hores estan en UTC, en aquesta època de l'any tenen una diferència de -2h respecte a la CEST).

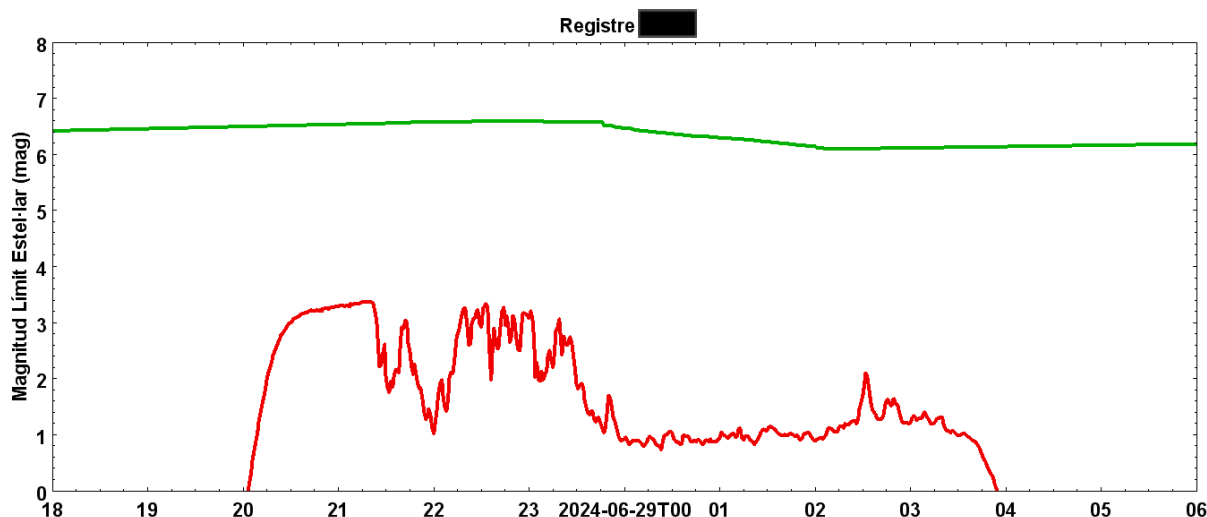
El següent esdeveniment destacable va succeir dos dies després, ja que la nit del 23 de juny donava la casualitat que jugava l'Espanyol a l'estadi de Cornellà amb què era la revetlla de Sant Joan, i tot juntament amb una lluna al 98'75% de plenitud. Degut a la combinació d'aquests factors, no es poden acabar d'explicar amb certesa les variacions de MALE al llarg de la nit. Tot i així, definitivament s'observa **un considerable descens de la qualitat del cel** respecte als anteriors dies, arribant a valors de MALE per sota d'1.

Imatge 29. Registre de la contaminació lumínica registrada el dia 23 de juny de 2024 (fixar-se en les mesures vermelles i verdes, ignorar les blaves).

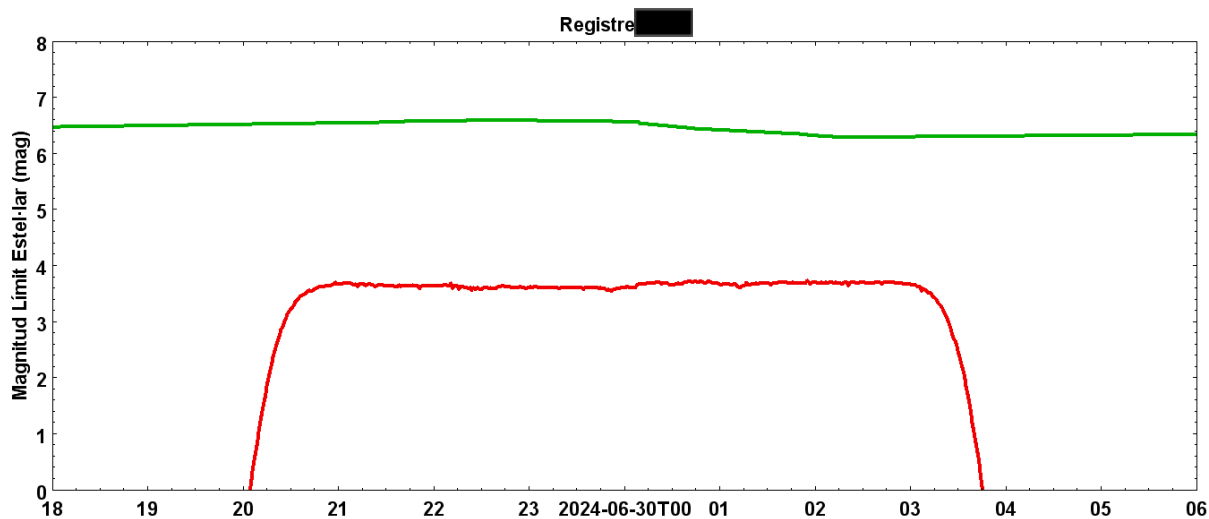


La nit del 28 de juny podem observar un desnivell de les mesures durant tota la nit. Per començar, abans de la sortida de la lluna, hi ha diverses baixades espontànies intuïdes per l'elevada activitat urbana d'aquelles hores, sumat a la concentració de núvols que hi va haver al començament de la nit. Més tard, no obstant, coincidint amb la sortida de la lluna, la MALE va disminuir considerablement i de manera més o menys estable en relació a l'activitat del nostre satèl·lit. Ara bé, no és possible que el descens de la MALE als resultats del FreeDSM sigui major a la prevista pel model de GAMBONS, pel que hi ha dos possibles explicacions per aquest fenomen. La primera és que la lluna no va ser el factor (o almenys l'únic) que va influir en el descens de la Magnitud Límit Estel·lar, i que en realitat va ser a causa de la concentració de núvols en el cel que reflectiren la llum urbana. I la segona explicació és que a causa de la pluja del dia abans que va coincidir amb la **presència de calitja a l'atmosfera va embrutar la lent**, de manera que es van alterar els resultats, amplificant, possiblement, per efecte de lent causat per l'aigua, els efectes de la llum de la lluna sobre les mesures obtingudes al llarg de la nit.

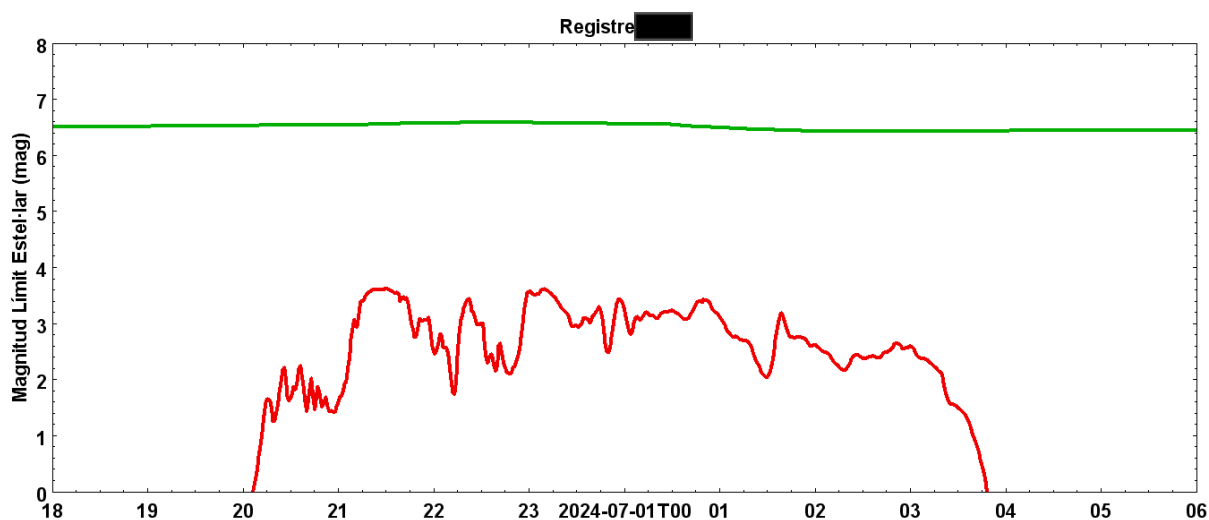
Imatge 30. Registre de la contaminació lumínica registrada el dia 28 de juny de 2024.



La nit del 29 l'Ajuntament va organitzar una cursa nocturna pel riu que podria haver afectat a les mesures de l'aparell, però tal com es pot observar al gràfic, no es veu reflectit a la corba de la MALE. No només això, sinó que tampoc s'observa una influència per part de la lluna, quan al registre del model es mostra un lleuger descens de la MALE a partir del voltant de les dues. Això es podria explicar amb **la limitada àrea de mesura de l'aparell**.

Imatge 31. Registre de la contaminació lumínica registrada el dia 29 de juny de 2024.

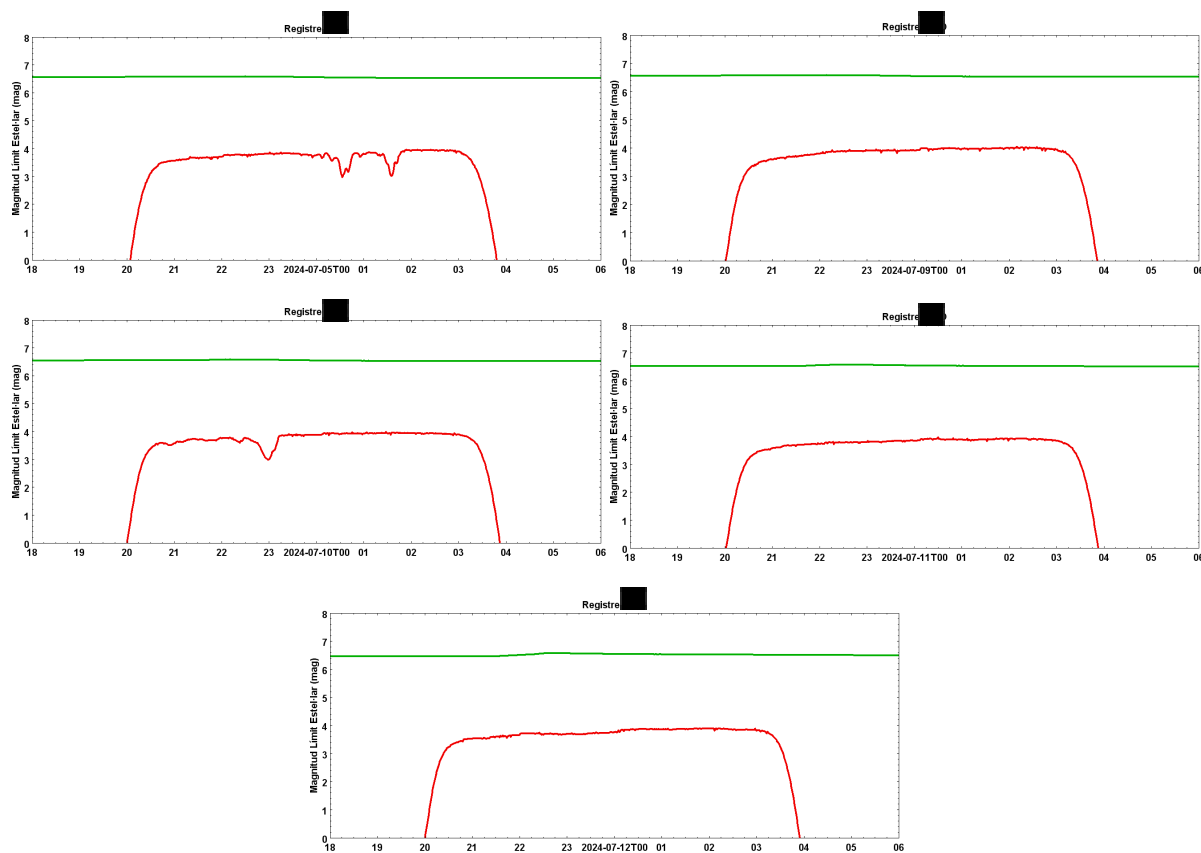
La nit del 30 de juny a l'1 de juliol hi van haver tempestes intenses, i, en conseqüència, un cel tapat durant totes les hores de foscor, deixant irregularitats al llarg de la nit. Més enllà del ja comentat, tot i que els seus efectes no es reflecteixin en les dades del FreeDSM d'aquest dia, cal destacar que l'efecte de la lluna sobre el model es va atenuant progressivament, coincidint amb la minvació de la lluna, el que indica que el model s'adapta a l'horari que es planteja.

Imatge 32. Registre de la contaminació lumínica registrada el dia 30 de juny de 2024.

Els següents dies ens trobem amb la fase de lluna nova, i es pot observar una millor estabilitat a nivell general, tenint com a excepció algun dia on s'hi va registrar nuvolositat. En aquestes

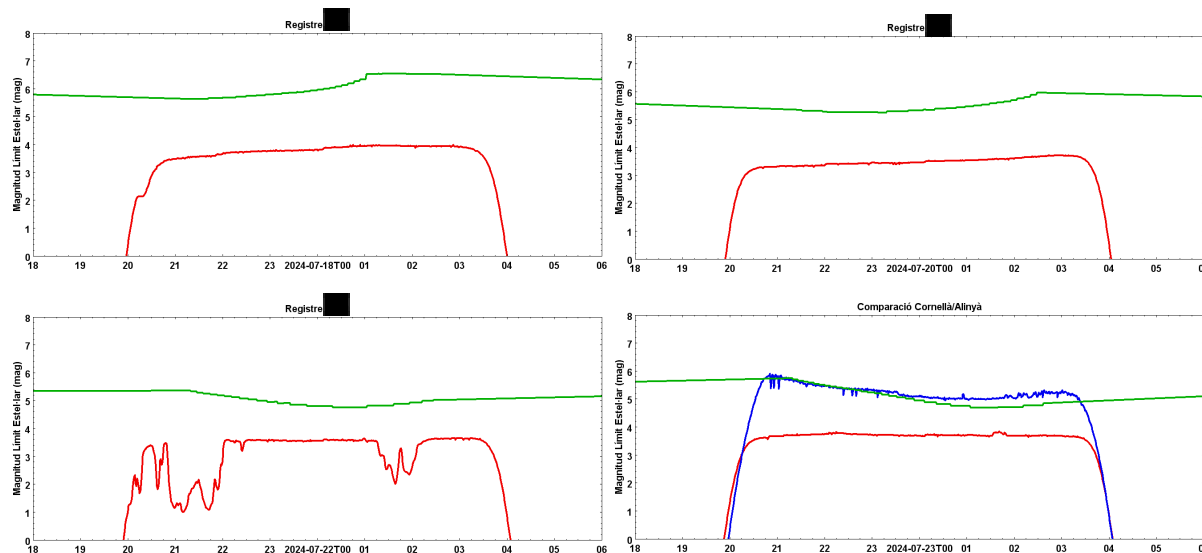
condicions, podem observar que, de mitjana, el valor màxim que pot assolir el model de brillantor nocturn ronda al voltant de $\approx 6'6$, mentre que als registres de l'aparell, aquests valors es troben entre el 3'8 i 4 de MALE. És a dir, que es pot establir que en unes condicions idònies d'ambdós sistemes, hi ha, de partida, **una diferència d'aproximadament 2'7 punts de MALE causat per la contaminació lumínica "normal" de la zona urbana.**

Imatges 33, 34, 35, 36 i 37. Registres de la contaminació lumínica registrats els dies 4, 8, 9, 10 i 11 de juliol de 2024.



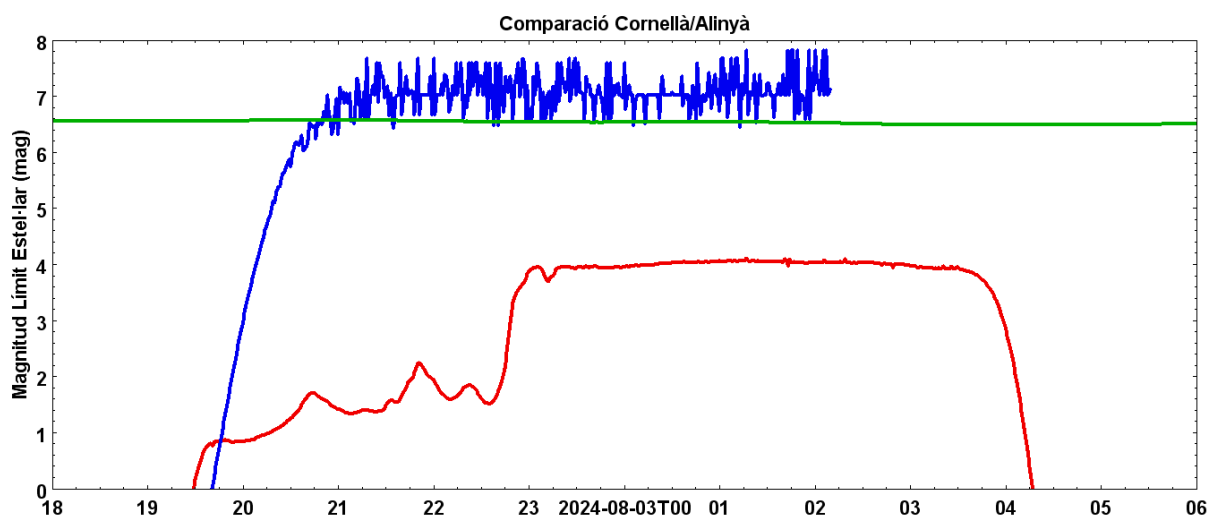
Més endavant, durant la següent fase de lluna plena, es pot veure més clarament l'impacte d'aquesta en els resultats, ja que en unes condicions mitjanament estables i regulars, la diferència de MALE provocada per la lluna als registres és similar a la del model (en ambdós casos baixa aproximadament mig punt de MALE respecte a la mitjana). La principal diferència és que en el cas dels registres, la corba de variació al llarg de la nit és menys pronunciada que en el model.

Imatges 38, 39, 40 i 41. Registres de la contaminació lumínica registrats els dies 17, 19, 21 i 22 de juliol de 2024.



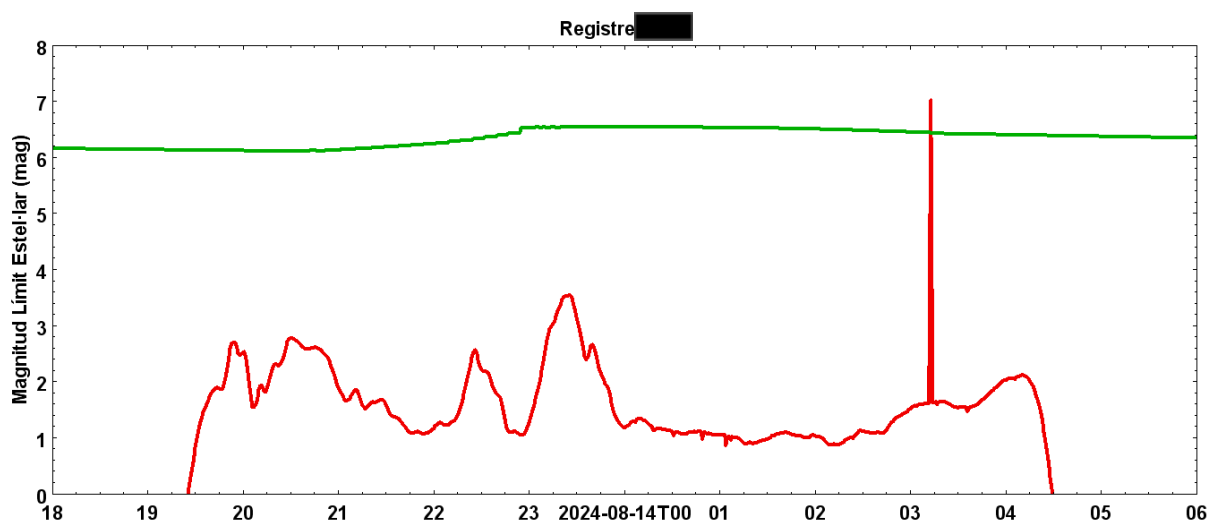
Durant els següents dies, hi va haver bastanta estabilitat en general. La nit del 2 d'agost, no obstant, hi va haver una tempesta molt forta les primeres hores de la nit, tal com es mostra al gràfic amb uns baixos valors de MALE fins a la 1 de la matinada del dia següent. Un cop més, es corrobora que **la presència de núvols afecta de manera negativa a la qualitat del cel nocturn.**

Imatge 42. Registre de la contaminació lumínica registrada el dia 2 d'agost de 2024.



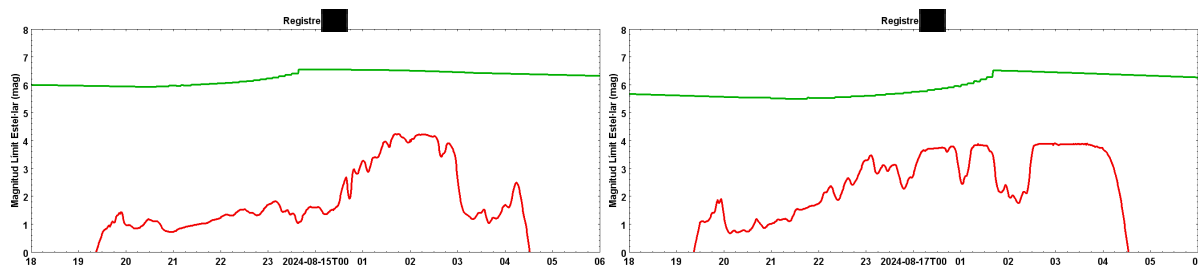
La nit del 13 d'agost van ocórrer diverses irregularitats. Entre aquestes, trobem la principal i que es troba present al llarg de tota la nit, causada per l'elevada quantitat de núvols al cel. La segona, no obstant, és una alteració espontània del valor de la MALE cap a les 05:15h del 14 d'agost, arribant a assolir valors de 7, per sobre, fins i tot, del model de GAMBONS. Degut a l'absurditat d'aquest fenomen, es pot concloure que ha sigut una falla puntual de l'aparell, i, per tant, no s'haurà de tenir en compte als resultats.

Imatge 43. Registre de la contaminació lumínica registrada el dia 13 d'agost de 2024



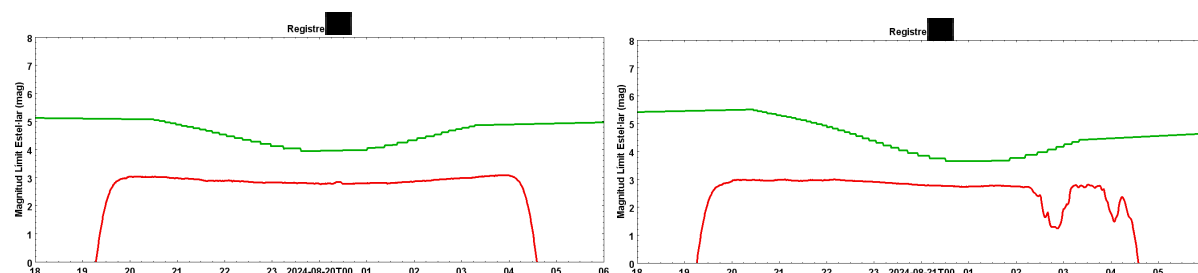
Als dies 14 i 16 d'agost es pot tornar a observar una certa similitud entre les tendències de la lluna al model i als registres. En els dos casos es comença la nit amb uns valors molt reduïts de MALE, coincidint amb la presència de la lluna al cel amb aproximadament un 75% de plenitud, i a mesura que va desapareixent al llarg de la nit, aquests valors pugen en paral·lel. No obstant, equiparat amb les comparatives extretes dels anteriors cicles lunars, la diferència de MALE entre el model i els registres en aquest cas és molt més elevada, pel que es pot donar lloc a una confusió.

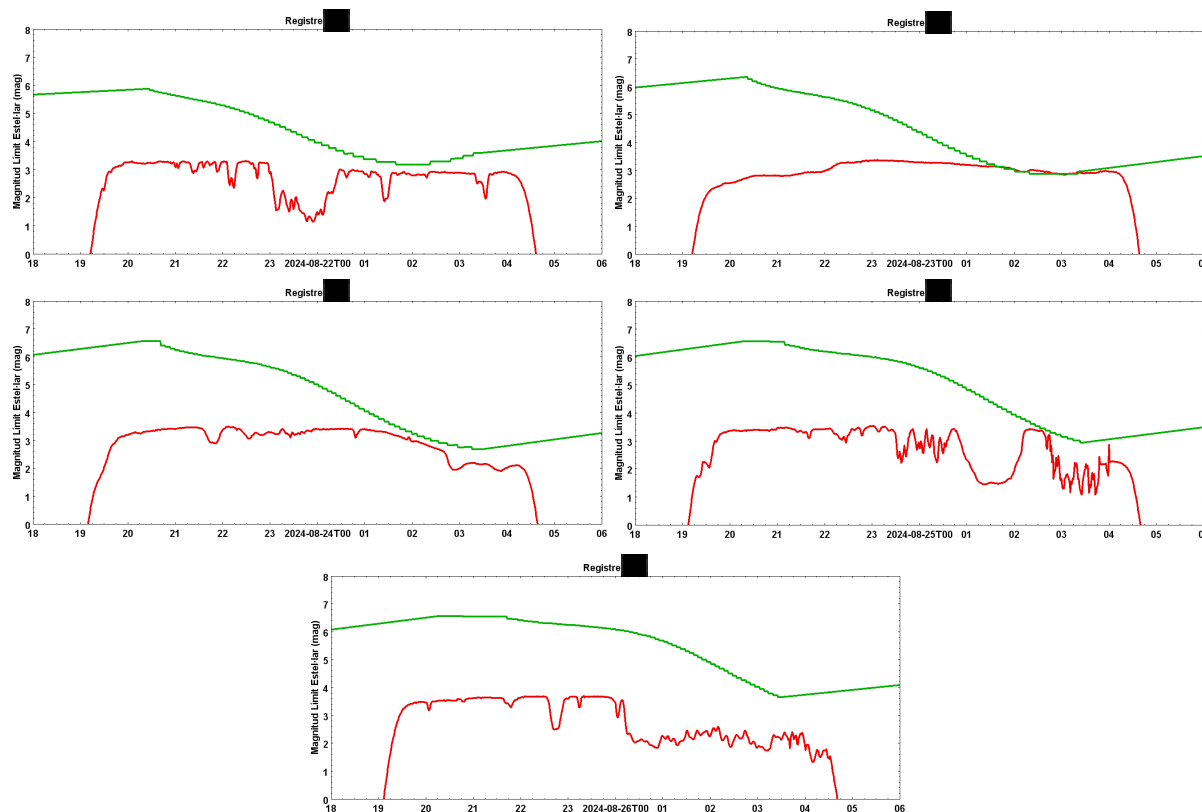
Imatges 44 i 45. Registres de la contaminació lumínica registrats els dies 14 i 16 d'agost de 2024.



A mesura que passaven els dies, l'efecte de la lluna sobre el model s'anava intensificant més i més, coincidint amb la fase de lluna plena. Aquesta influència es veu millor reflectida sobre els registres dels dies 23, 24 i 25. Si bé l'efecte té sentit amb el resultat, el que no quadra és la diferència del descens de la MALE causat per la lluna entre els anteriors mesos i aquest. Per posar un exemple, en la lluna plena de juliol (imatge 39), la diferència de MALE dins del model quan la lluna està absent i quan està en el seu punt culminant és d'aproximadament 0'6 punts, mentre que en aquesta lluna plena, la diferència arriba a estar per sobre dels 3 punts. Arran d'aquesta confusió, es va sol·licitar una opinió per part d'Eduard Masana, el proveïdor de l'aparell, i aquest va comentar el següent: *"Ha de ser degut a l'alçada de la Lluna. El dia 19 culmina a 29 graus. En canvi, el dia 23, per exemple, culmina a 56 graus. Tenint en compte que el camp de visió del FreeDSM no és massa ample, això ho hauria d'explicar."* Així doncs, en els cicles anteriors, el fet que la culminació no fos a l'alçada suficient, va provocar que el seu impacte sobre les dades fos molt menor. És a dir, que realment sí que hi ha una influència notable per part de la lluna, però depèn de la seva posició al cel.

Imatges 46, 47, 48, 49, 50, 51 i 52. Registres de la contaminació lumínica registrats els dies 19, 20, 21, 22, 23, 24 i 25 d'agost de 2024.



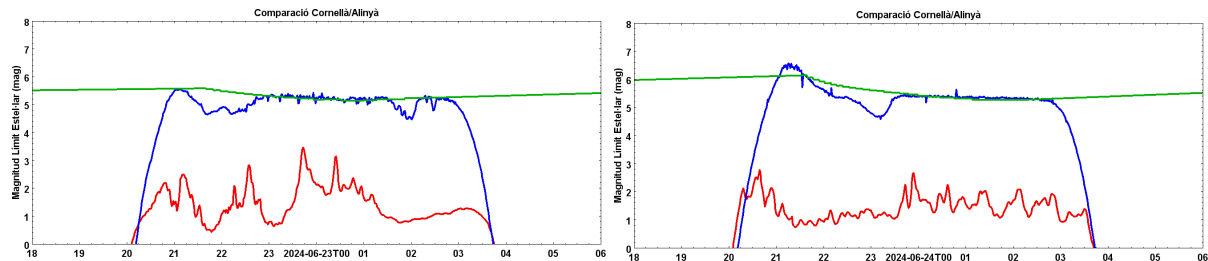


5.2 Cornellà versus Alinyà

En el cas de les mesures a Alinyà, hi ha menys registres, i gran part d'ells són defectuosos a causa d'errades per part de l'aparell, però tot i així, hi ha el necessari per poder analitzar i comparar la seva contaminació lumínica.

De partida, amb les primeres dues mesures realitzades el 22 i 23 de juny, ja es pot observar una àmplia diferència entre la MALE mitjana d'Alinyà i la de Cornellà. Mentre que el **registre de muntanya s'adapta al model de manera satisfactòria**, el de Cornellà té una elevada diferència a nivell general, trobant-se a 2'5 punts per sota d'aquest en unes condicions estables amb lluna nova.

Imatges 53 i 54. Registres de la contaminació lumínica registrats els dies 22 i 23 de juny de 2024.



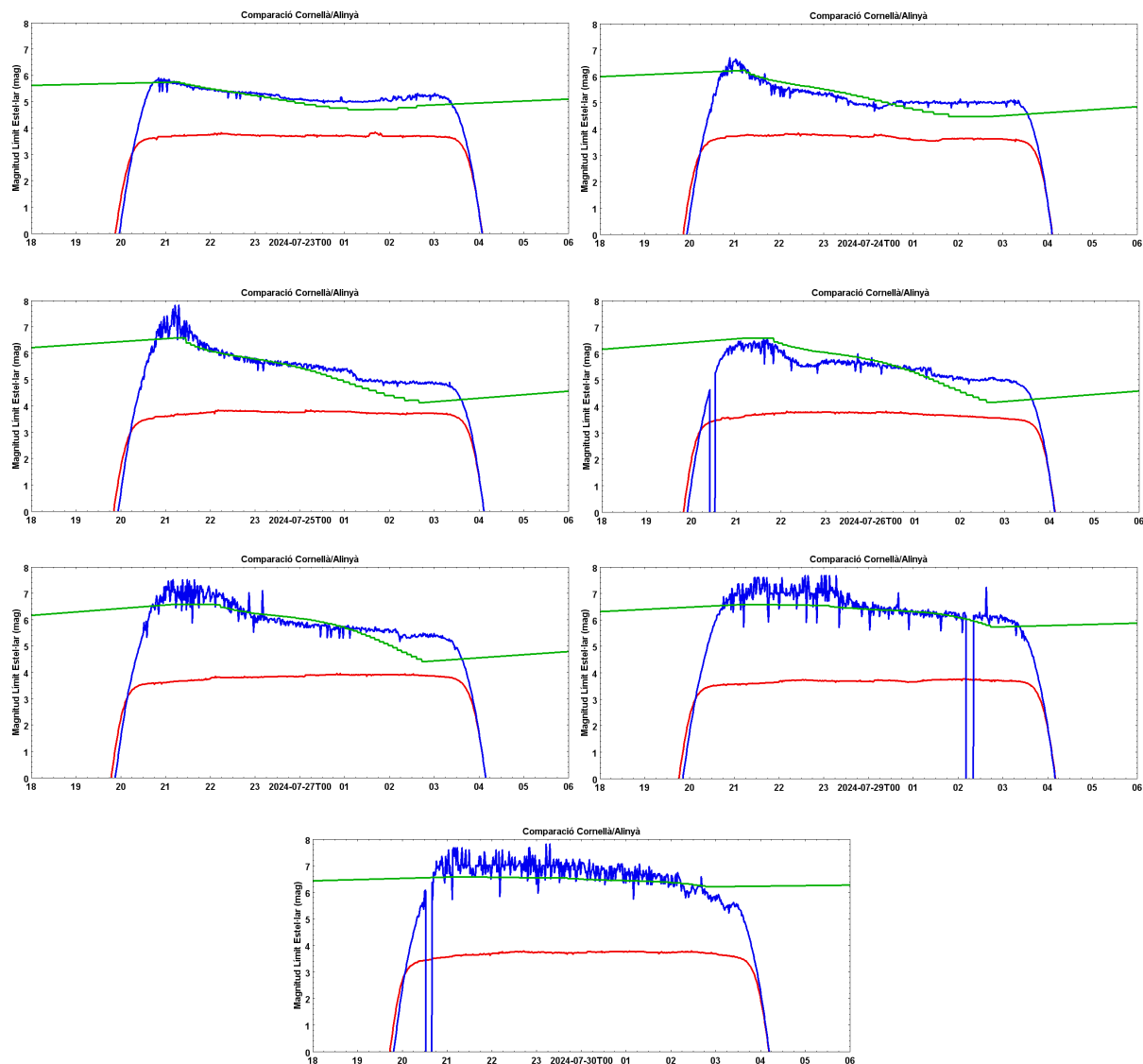
Malauradament, la primera estada a Alinyà va durar únicament dos dies, pel que no hi ha més mesures fins a mitjans de juliol. Afortunadament, la represa d'aquestes coincideix enmig del cicle de lluna plena de juliol, pel que es pot veure com varien els registres a mesura que aquesta perd plenitud.

El principal fenomen que crida l'atenció és que hi ha alguns registres d'Alinyà que superen els valors del model, això pot ser degut a diverses raons, entre les quals es destaquen dues: el fet de que **hi hagi muntanyes al voltant de la vall** provoca que la lluna s'amagui abans de desaparèixer per l'horitzó, pel que puja la MALE del registre, però no la prevista pel model; i l'altra, que consisteix en que la nuvolositat constant durant tota la nit impedeix que la lluna faci efecte sobre l'aparell (a diferència de Cornellà, els núvols en Alinyà no reflecteixen la llum de la superfície, pel que no empitjora la qualitat del cel).

Una altra cosa a destacar és el soroll instrumental que es troba quan els valors arriben al màxim del model, això és signe de la bona qualitat del cel a la muntanya, ja que al no rebre gairebé contaminació per la manca de fonts de llum, l'aparell reflecta als resultats exclusivament l'efecte del soroll de fons dels electrons interns, el qual es genera a causa de la temperatura i és molt inestable degut a la seva aleatorietat.

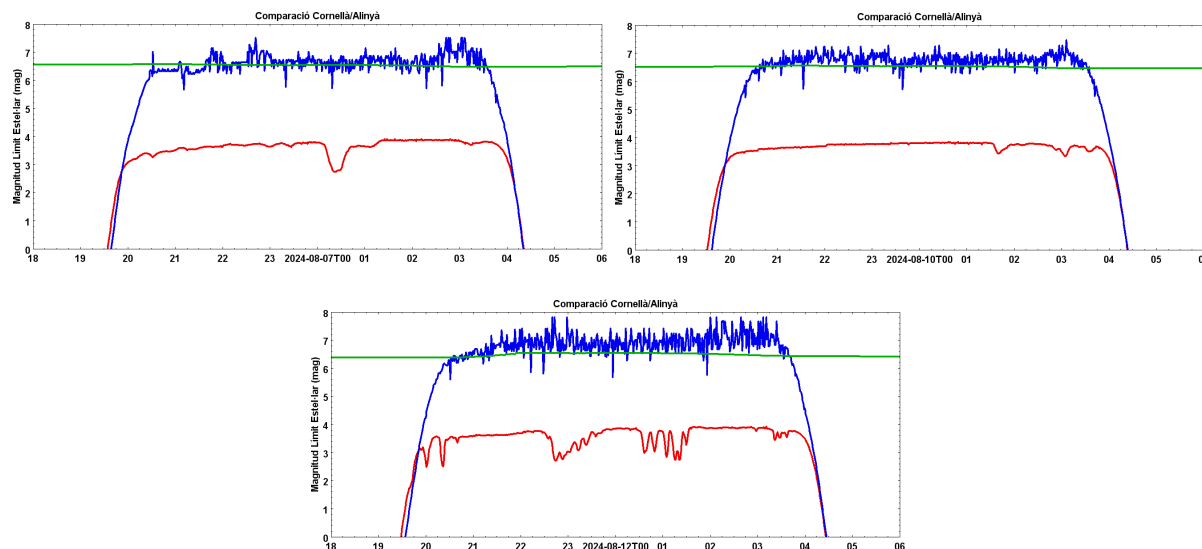
Per últim, en els dies 25, 28 i 29 de juliol, es poden observar períodes molt curts de temps on no hi ha registres sobre la contaminació lumínica. Això és degut als reseteigs que feia l'aparell enmig de la nit a causa de les nombroses fallades d'aquest. De fet, aquestes falles s'aniran repetint al llarg dels dies, provocant que hi hagi registres o bé incomplets o directament inexistents (com és el cas de la nit del 27 d'agost).

Imatges 55, 56, 57, 58, 59, 60 i 61. Registres de la contaminació lumínica registrats els dies 22, 23, 24, 25, 26, 28 i 29 de juliol de 2024.



Per finalitzar, en els dies 6, 9 i 11 d'agost, es pot observar una certa influència en els resultats les primeres hores de la nit. Això és a causa de que la lluna ja es trobava en fase creixent, i aquesta es posava per l'horitzó cap a les 11 de la nit, el qual suposava que encara era present quan es posava el sol, i tot i estar per sota del 50% de plenitud, el seu efecte a muntanya es fa molt notable. A això se li ha de sumar el fet de que en agost la lluna tingués una alçada superior a les de juny i juliol.

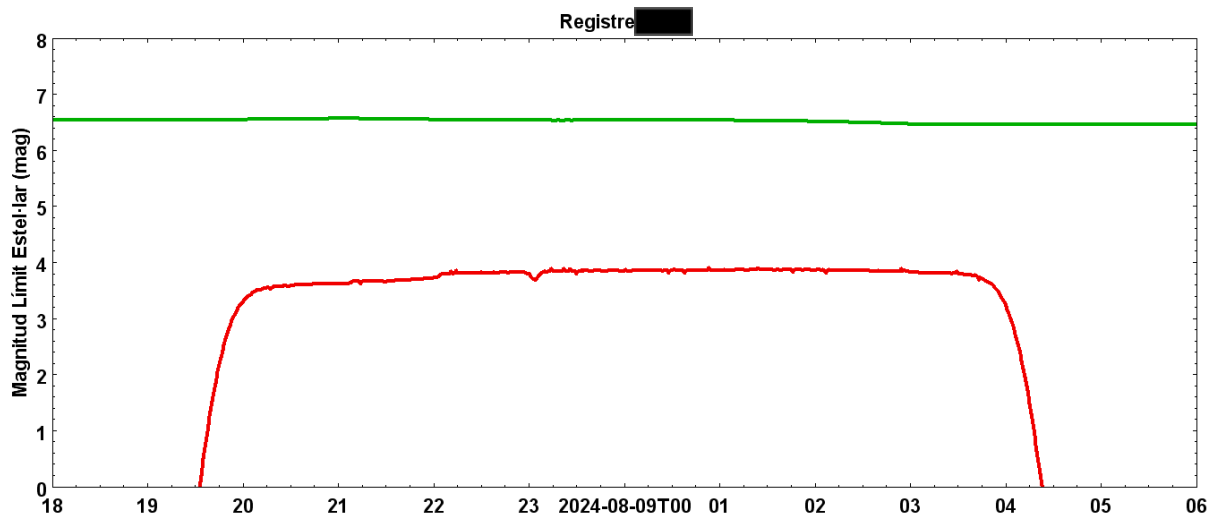
Imatges 62, 63 i 64. Registres de la contaminació lumínica registrats els dies 6, 9 i 11 d'agost de 2024.



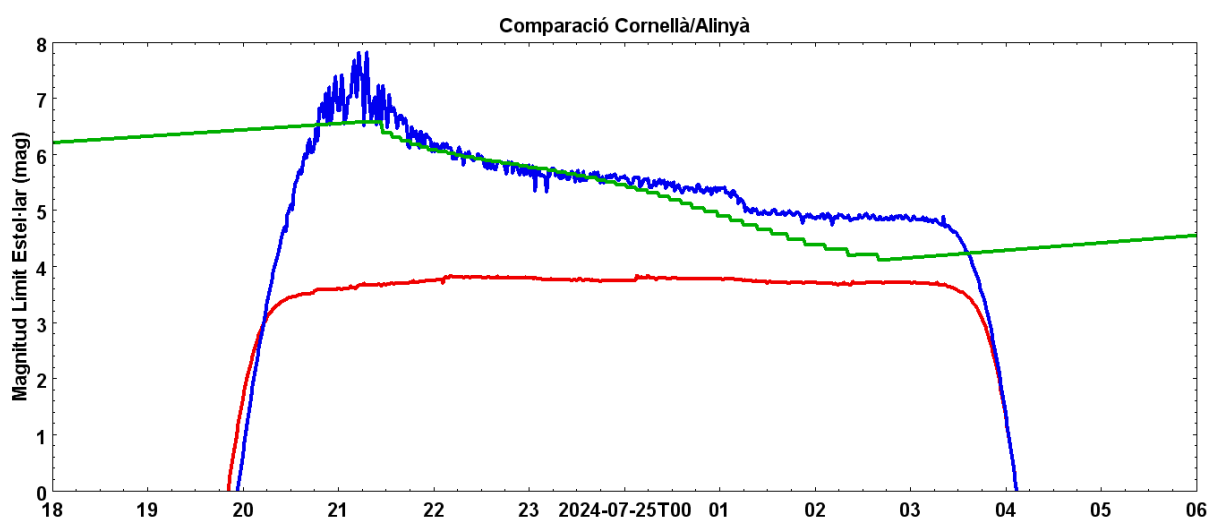
5.3 Anàlisi dels factors que afecten a la qualitat del cel

Un cop s'han analitzat tots els factors que afecten a la contaminació lumínica d'ambdós indrets, és hora de recopilar-los, classificar-los i comparar-los per poder prendre unes conclusions adients.

Activitat humana: La principal causa de la limitada qualitat del cel a Cornellà és la il·luminació constant que suposa l'activitat humana quotidiana i habitual. En unes condicions com les del dia 8 d'agost (imatge 68), de lluna nova, és a dir, sense fonts significatives d'il·luminació afegides, observem que la diferència entre el valor del model i el de Cornellà és d'aproximadament 2'8 punts de MALE. Podem estar segurs de que la raó de la diferència és l'activitat humana habitual, ja que trobem una estabilitat per part de les mesures al llarg de la nit, i segons el registre de meteorologia, va ser una nit sense núvols, pel que es pot descartar una influència per part d'aquests.

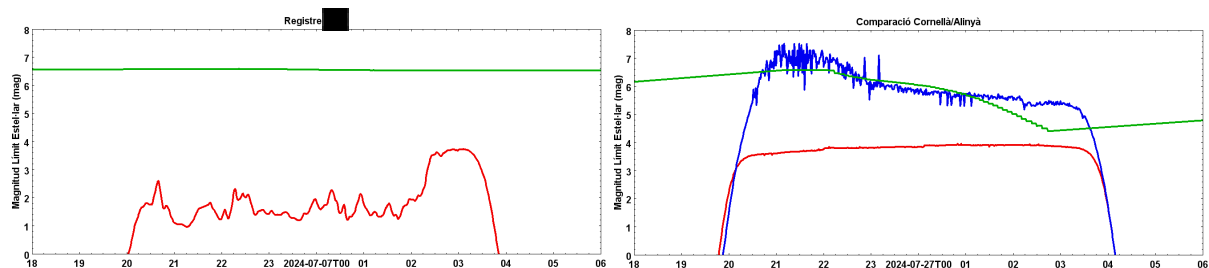
Imatge 65. Exemple de l'efecte de l'activitat humana a un nucli urbà sobre les mesures.

La lluna: Aquesta és la principal causa de descens de la MALE tant al model com a Alinyà, arribant a baixar aquest valor fins a 3 punts en unes condicions ideals de culminació al cel (imatge 50), només dues dècimes per sobre de la diferència entre el model i Cornellà en unes condicions de lluna nova (imatge 68). En general, els gràfics dels registres del FreeDSM segueixen la tendència de la lluna, però a Cornellà, com que hi ha pitjors condicions del cel a causa de l'activitat humana, no s'observa una influència significativa per part d'aquesta en gran part dels registres (tot i trobar-se en fase de lluna plena, la corba de variació és massa lleu).

Imatge 66. Exemple de l'efecte de la lluna plena sobre les mesures.

Núvols, humitat i tempestes: En aquest cas, trobem una dualitat en els seus efectes depenent des d'on es prenguin les mesures. En el cas d'Alinyà, els núvols no suposen un descens de la MALE, sinó fins i tot un ascens en determinats casos, ja que aquests tapen la lluna, la principal font d'il·luminació a muntanya. A Cornellà suposen un total descens i són la principal causa d'irregularitats, ja que aquests reflecteixen gran part de la il·luminació que es genera en els nuclis urbans propers, que ocupen una àrea considerablement gran. Aquest fenomen no succeeix a Alinyà, ja que a l'Alt Urgell, una zona de muntanya, no trobem fonts d'il·luminació terrestre en les proximitats, i menys encara si l'indret des d'on es mesura és una vall envoltada de muntanyes.

Imatges 67 i 68. Comparació de l'efecte dels núvols sobre les mesures (Cornellà/ Alinyà).



Esdeveniments locals/Activitat humana extraordinària: Factors com partits de l'Espanyol o curses nocturnes al voltant del riu no han afectat de manera significativa als resultats, pel que es pot descartar que aquests esdeveniments suposin un problema afegit a la contaminació lumínica de la zona urbana.

Llum zodiacal, Via Làctea i altres factors astronòmics: Aquests, tot i ser presents en el cel nocturn, gairebé no tenen influència en les mesures, i en cas d'afectar, entren desapercebudes en l'efecte natural de contaminació lumínica d'ambdós indrets, sent opacats per altres factors més notables, així com la lluna o els núvols, per exemple.

5.4 Classificació dels cels en l'escala de BORTLE

Analitzant la màxima mitjana de MALE que pot assolir cada indret, es pot classificar la qualitat del cel seguint l'escala de BORTLE.

Cornellà: Els valors de MALE en Cornellà són considerablement més reduïts que en el model de GAMBONS. De mitjana, en unes condicions ideals de lluna plena, els registres poden arribar a rondar els 4 punts de MALE, però són pocs els casos on supera aquest valor, i en cas de fer-ho, no és més que per unes centèsimes. Així doncs, a nivell general, podem afirmar que la qualitat del cel a Cornellà es troba al voltant dels 4 punts de MALE, entrant així a la classe 9; l'última de totes, la que és pròpia dels interiors de les ciutats. Algunes de les característiques pròpies d'aquest són, per exemple: que el cel està visiblement il·luminat; la gran majoria d'estels que formen constel·lacions són invisibles, i els únics objectes il·luminats per observar són la lluna, altres planetes del sistema solar, satèl·lits brillants i uns quants cúmuls estel·lars.

Alinyà: En unes condicions de lluna nova, la mitjana de MALE en Alinyà (ignorant el soroll instrumental) és de 7, permeten classificar aquest cel en la classe 3, la d'un cel rural. Les seves característiques en aquest cas són: la llum zodiacal afecta en la tardor i primavera; es pot observar una lleugera contaminació lumínica a l'horitzó, així com núvols il·luminats al voltant d'aquesta zona, però foscos quan es troben a sobre de la zona de mesura; l'entorn més proper és vagament visible i, a l'estiu, la Via Làctea s'observa de manera més o menys complexa. (Bortle, 2006)

6. Conclusions

La contaminació lumínica és un problema que sorgeix a partir de la massiva urbanització del nostre planeta. Aquest fenomen ha provocat, entre d'altres, la reducció del nombre de zones terrestres amb bones condicions d'observació dels cossos celestes, les quals faciliten oportunitats per realitzar estudis astronòmics a nivell local i general que beneficien la comunitat científica.

L'objectiu del treball consistia en analitzar la diferència de qualitat de cel entre un entorn de muntanya i un de proper a un nucli urbà, fent ús dels dispositius FreeDSM, facilitats per la Universitat de A Coruña. Es van dur a terme els registres de les magnituds límit estel·lars (MALE) d'ambdós indrets durant dos mesos. Posteriorment es va procedir al tractament de dades, l'anàlisi dels resultats i la seva graficació.

Un cop realitzada l'anàlisi, es poden concloure diverses qüestions en relació al propòsit original. De partida, es demostra la diferència de la qualitat del cel entre la muntanya i la ciutat. Hi ha gairebé tres punts de diferència de MALE entre els dos indrets, això els separa 6 classes de les 9 possibles dins de l'escala de BORTLE, classificant el cel d'Alinyà com "Rural" i el de Cornellà com cel de nucli de ciutat (el pitjor que hi ha).

En un primer moment, es va plantejar la hipòtesi que al col·locar l'aparell en una zona lleugerament allunyada del centre de la ciutat, propera al riu, la qualitat seria més bona, però els resultats no mostren cap tipus de diferència respecte del que seria prendre les mesures enmig d'una ciutat. Això demostra que la contaminació lumínica d'un nucli urbà estès, com és l'àrea metropolitana de Barcelona, abasta una superfície d'efecte molt més gran del que ens pensem, arribant a afectar a quilòmetres de radi.

Els factors que inicialment semblava que podrien influir en l'excés d'il·luminació del cel nocturn a Cornellà, com ara la presència del camp de l'Espanyol o l'autopista, les festivitats com Sant Joan o les activitats nocturnes prop del riu, no semblen tenir una contribució destacable en la quantificació de la contaminació lumínica a la ciutat de Cornellà. S'ha

observat que els dies que puntualment hi havia algun esdeveniment extraordinari en aquest sentit, no queda especialment reflectit a les gràfiques.

En relació als factors naturals que també poden contribuir a l'excés de llum nocturna, la lluna altera considerablement més la qualitat del cel fosc a Alinyà que a Cornellà, ja que a aquesta última és tan gran la contaminació lumínica de base, que l'efecte de la lluna és pràcticament negligible. Un altre factor natural és el reflex de llum cap a terra degut a la presència de núvols al llarg de la nit. En aquest cas s'observa l'efecte contrari, a Cornellà hi ha major influència per part d'aquests degut a l'elevada quantitat de fotons que s'emeten des de la ciutat en totes direccions i que són reflectits pels núvols. A Alinyà això no passa perquè no hi ha tantes emissions de llum artificial que es puguin reflectir cap avall.

Aquest estudi serveix per prendre consciència i reafirmar que la contaminació lumínica a Cornellà de Llobregat és considerablement elevada, però les causes van més enllà dels problemes locals pel que fa a la planificació de l'enllumenat de les vies públiques o els edificis. L'extensa zona urbana de Barcelona genera un excés de llum nocturna i les solucions per pal·liar aquests efectes haurien de ser a una escala major que la municipal. En qualsevol cas, el fet d'aplicar petites mesures a nivell local proporcionaria una lleu millora de la qualitat del cel. Així com canviar els fanals dels carrers i fer que els llums enfoquin al terra, reduiria considerablement l'emissió de fotons al cel. Si es poguessin estendre i aplicar estrictament aquest tipus de mesures a la resta de Barcelona, es veuria una millora considerable dels valors de MALE a la zona metropolitana.

La recollida d'aquestes dades, i la continuïtat d'aquest treball, pot ajudar en el futur a fer estudis relacionats amb l'efecte de la contaminació lumínica. Per exemple, l'efecte sobre els entorns naturals, els hàbits de les espècies i com s'altera la seva conducta nocturna, les despeses excessives d'energia, la millora de l'enllumenat, etc.

Bibliografia

Bortle, J. (18 de juliol de 2006). *Gauging Light Pollution: The Bortle Dark-Sky Scale*. Sky&Telescope. Recuperat el 20 de setembre de 2024.

<https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/light-pollution-and-astronomy-the-bortle-dark-sky-scale/>

Crumey, A. (2014). Human contrast threshold and astronomical visibility, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 442, Issue 3, Pages 2600–2619,

<https://doi.org/10.1093/mnras/stu992>

Dafonte, J.C., (Agost de 2024). *Assembly*. Wiki for lia2-publico / g4s. Recuperat el 28 de juny de 2024.

<https://gitlab.citic.udc.es/lia2-publico/g4s/-/wikis/FreeDSM/Assembly>

FreeDSM – Gaia4Sustainability (s.d.). *An open device for citizen light pollution monitoring*. Gaia4Sustainability. Recuperat el 14 de juny de 2024.

<https://gaia4sustainability.eu/freedsm/>

Masana, E. et al. (2020). *The GAia Map of the Brightness Of Natural Sky*. GAMBONS. Recuperat el 16 de setembre de 2024. <https://gambons.fqa.ub.edu/>

Masana, E. et al. (2020). *The GAia Map of the Brightness Of Natural Sky (about)*. GAMBONS. Recuperat el 16 de setembre de 2024.

<https://gambons.fqa.ub.edu/about.html>

Taylor, M (2020). *Tool for OPERations on Catalogues And Tables. What is Topcat?*. University of Bristol. Recuperat el 18 de febrer de 2024.

<https://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/#intro>

Taylor, M (2020). *Starlink Tables Infrastructure Library Tool Set*. University of Bristol. Recuperat el 28 d'agost de 2024.

<https://www.star.bristol.ac.uk/mbt/stilts/>

Varela, A.M. (2023). The increasing effects of light pollution on professional and amateur astronomy. *Science*, 15 Juny 2023, Vol 380, Issue 6650, pp. 1136-1140. DOI: [10.1126/science.adg0269](https://doi.org/10.1126/science.adg0269).

Annexos

Format dels registres i exemple

Tal com s’ha mencionat en els apartats 3 i 4, el format visual dels diferents tipus d’arxiu (.txt, .csv, .jpeg) és de la següent manera:

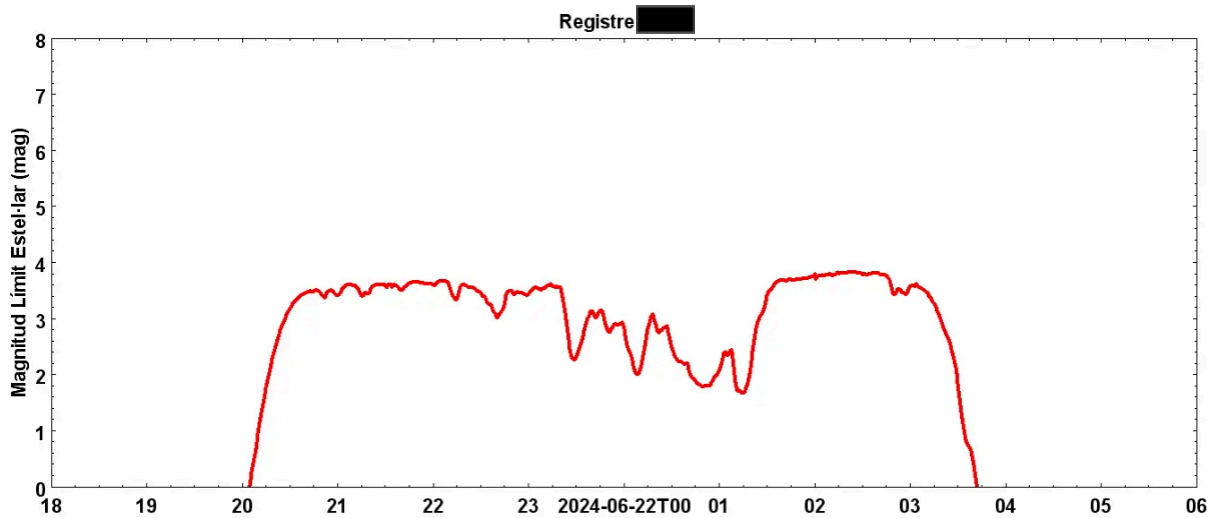
Imatge 69. Exemple de registre en format .txt.

```
# Data read at (UTC): 2024-06-21T10:28:03
# Device: FreeDSM-7845F4-1524

v|Fw2.4Sc2.4.5|t|-----T---:---:---|a|1|j|[0,0,0,0,0,0]|g|[0,0,0,0,0,0]|l|0|m|23|n|23|z|[0.36,0.99,0]|k|
[6,0]|c|34.2|h|32.1|d|15.2|b|2670|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:28:56|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.2|h|32.2|d|15.3|b|2670|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:29:56|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.2|h|32.2|d|15.3|b|2668|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:30:56|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.2|h|32.3|d|15.3|b|2670|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:32:00|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.3|h|32.1|d|15.2|b|2671|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:32:00|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.3|h|32|d|15.2|b|2671|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:32:00|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.3|h|32.1|d|15.2|b|2669|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:33:56|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.3|h|32.3|d|15.4|b|2669|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:34:56|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.4|h|32.1|d|15.4|b|2668|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:35:56|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.4|h|32|d|15.3|b|2668|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:36:57|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|l|10|m|0|n|0|z|[0.36,0.99,0]|k|[6,0]|c|34.5|h|32.1|d|15.4|b|2664|q|100
v|Fw2.4Sc2.4.5|t|2024-06-21T10:37:57|a|1|j|[65535,65535,65535,65535,65535,65535]|g|
```

Imatge 70. Exemple de registre en format .csv.

	A	B	C	D	E	F
1	datetime	temp	humid	dew	mpsas_cal	male_cal
2	2024-06-21 10:28:56	34.2	32.2	15.3	0	-13.65010489
3	2024-06-21 10:29:56	34.2	32.2	15.3	0	-13.65010489
4	2024-06-21 10:30:56	34.2	32.3	15.3	0	-13.65010489
5	2024-06-21 10:32:00	34.3	32.1	15.2	0	-13.65010489
6	2024-06-21 10:32:00	34.3	32	15.2	0	-13.65010489
7	2024-06-21 10:32:00	34.3	32.1	15.2	0	-13.65010489
8	2024-06-21 10:33:56	34.3	32.3	15.4	0	-13.65010489
9	2024-06-21 10:34:56	34.4	32.1	15.4	0	-13.65010489
10	2024-06-21 10:35:56	34.4	32	15.3	0	-13.65010489
11	2024-06-21 10:36:57	34.5	32.1	15.4	0	-13.65010489
12	2024-06-21 10:37:57	34.6	32.2	15.5	0	-13.65010489
13	2024-06-21 10:38:57	34.6	32.3	15.7	0	-13.65010489
14	2024-06-21 10:39:57	34.7	32	15.6	0	-13.65010489
15	2024-06-21 10:40:57	34.7	31.4	15.3	0	-13.65010489

Imatge 71. Exemple de registre en format .png.

Explicació i funció del codi

Abans d'explicar el codi i entrar en detall, cal tenir en compte que per comprendre'l millor es requereix un mínim de coneixement sobre el llenguatge de programació *Python*, ja que a l'estar redactat exclusivament en aquest tipus de llenguatge, hi ha moltes funcions que no s'entendran si no es té una familiarització amb el món de la programació.

En primer lloc, s'importen tots els mòduls (paquets) que contenen les funcions necessàries per efectuar la conversió dels valors. És necessari importar-los, ja que aquests no venen per defecte en els programes d'edició de codi, sinó que s'emmagatzemen en unes "biblioteques" globals a la xarxa, des de les quals sí que s'hi pot accedir.

Imatge 72. Secció dels "imports" del codi.

```
import pandas as pd
import numpy as np
import math
import datetime
from datetime import datetime, timedelta
```

A continuació, i com ja s’ha esmentat anteriorment, s’agafa el nom de l’arxiu i s’emmagatzema com una dada interna. Degut al format “string” de Python, és essencial introduir aquest nom entre cometes (“”), ja que el programa emmagatzemarà com a dada el contingut que hi hagi entre aquestes.

Imatge 73. Espai del nom de l’arxiu que es converteix.

```
filename="2024-08-22-██████████"
```

Un cop ja es consta del nom de l’arxiu, s’utilitza la funció “read_table” del mòdul “panda”, la qual serveix per llegir el fitxer d’entrada i guardar les dades en una taula accessible per Python. Per efectuar aquesta funció, primer se li ha d’indicar l’arxiu que ha de formatar, i com el programa ja consta del nom de l’arxiu, l’únic que s’ha de fer és afegir-li un .txt perquè pugui identificar el tipus que ha de convertir

Imatge 74. Secció de les columnes que es modifiquen al convertir a .csv.

```
df=pd.read_table(filename+".txt",sep="|", comment='#',names=['i01','i02','i03',  
                                                         'i04','i05','i06',  
                                                         'i07','i08','i09',  
                                                         'i10','i11','i12',  
                                                         'i13','i14','i15',  
                                                         'i16','i17','i18',  
                                                         'i19','i20','i21',  
                                                         'i22','i23','i24',  
                                                         'i25','i26','i27',  
                                                         'i28','i29','i30'])
```

A continuació, es redefeixen algunes columnes i es calculen els valors del “male_raw” i “male_cal” aplicant la fórmula de l’apartat 1.4, els quals s’organitzaran en la nova definició per crear la taula de l’arxiu .csv.

Imatge 75. Redefinició d'algunes columnes de l'arxiu .txt i càlcul de la MALE.

```
df = df.rename(columns={'i04': 'datestring', 'i08': 'ir', 'i10': 'full',
                        'i12': 'lux',
                        'i14': 'mpsas_raw', 'i16': 'mpsas_cal',
                        'i22': 'temp', 'i24': 'humid', 'i26': 'dew'})

Npunts=len(df.index)

df["datetime"] = pd.to_datetime(df["datestring"])
df["male_raw"] = 7.93-5*np.log10(10**(4.316-df['mpsas_raw']/5)+1)
df["male_cal"] = 7.93-5*np.log10(10**(4.316-df['mpsas_cal']/5)+1)
```

Finalment, es defineixen les columnes adients al format .csv, i es genera l'arxiu d'aques tipus, generant-lo en la carpeta que s'ha indicant amunt.

Imatge 76. Definició de les noves columnes i generació de l'arxiu .csv.

```
newdf=df[['datetime',
           'temp', 'humid', 'dew',
           # 'mpsas_raw',
           'mpsas_cal',
           # 'male_raw',
           'male_cal',
           # 'lux',
           # 'ir1', 'ir2', 'ir3', 'ir4', 'ir5', 'ir6', 'irmean',
           # 'full1', 'full2', 'full3', 'full4', 'full5', 'full6', 'fullmean'
          ]]

newdf

newdf.to_csv(filename+'.csv', index=False)
```