

# **LA CONTAMINACIÓ LUMÍNICA A PALAFRUGELL**

**Escola Sant Jordi, Palafrugell**

**4t ESO  
2022/2023**

## Índex

Introducció	2
1. La contaminació	3
2. La contaminació lumínica	4
2.1. Evolució de la contaminació lumínica	4
2.2. Efectes i trastorns dels éssers vius causats per la contaminació lumínica	6
2.2.1. La perturbació del cicle de la son	7
2.2.2. Efectes als ecosistemes	7
2.3. Mesures de prevenció contra la contaminació lumínica	13
3. Efectes econòmics de la contaminació lumínica	14
3.1. Espectrometria	20
4. La contaminació lumínica a Palafrugell	20
4.1. Metodologia de la investigació	21
4.2. Creació del mapa amb ArcGIS Pro	23
4.3. Espectres de les làmpades	36
5. Resultats de l'estudi	40
5.1. Resultats de l'espectrometria	40
5.2. Mapes finals	46
5.3. Comparació entre el mapa d'enllumenat públic i el mapa de contaminació lumínica	50
5.4. Relació entre l'espectrometria i el mapa	51
6. Conclusions del treball	52
7. Bibliografia	55
8. Annex	59
8.1. Instruccions de l'Unihedron SQM-L:	59
8.2. Entrevista a Pere Horts	60

## Introducció

Des que la nostra espècie va començar a fer grans progressos, hem contaminat el nostre planeta, deteriorant-lo en el procés. No fa molt que l'ésser humà va començar a malmetre la Terra de forma massiva mitjançant la contaminació. Quan pensem en aquest terme, la contaminació, el primer que omple el nostre pensament és la contaminació atmosfèrica. Estem molt acostumats a sentir-ne parlar a tot arreu: les notícies, els reportatges, els documental; no obstant això, no n'és l'únic tipus. Existeixen altres tipus de contaminació que passen desapercebuts, a diferència de la contaminació atmosfèrica. Un d'aquests és la contaminació lumínica, i altres exemples en són la contaminació hídrica, l'acústica, la química, la del sòl, la radioactiva, la tèrmica, l'electromagnètica, entre d'altres. El nostre treball es centrarà en la recerca i profundització de la contaminació lumínica, més concretament, la contaminació lumínica a Palafrugell.

L'objectiu de la nostra investigació és exposar el grau de contaminació lumínica present a Palafrugell. Per tal de descobrir-ho, farem ús d'unes mesures als carrers de Palafrugell recopilades per nosaltres mateixos, cosa que n'augmenta la fiabilitat. Es realitzarà una comparació tant amb el mapa de l'enllumenat de Palafrugell, com amb el mapa mundial de contaminació lumínica, amb la finalitat que la nostra investigació proporcioni informació precisa i actualitzada sobre la situació actual a Palafrugell en relació amb la contaminació lumínica.

El nostre treball està dividit en dos grans apartats:

- El marc teòric, que conté una introducció al tema i totes les definicions i explicacions referents a aquest. Algunes explicacions d'aquest apartat han estat completades amb informació addicional provinent d'extractes de l'entrevista amb el senyor Pere Horts, professor jubilat de filosofia, vocal de la junta directiva de l'associació Cel Fosc i activista de la contaminació lumínica.
- El treball de camp, que conté el nostre estudi, l'explicació de tot el procés d'investigació així com els mitjans utilitzats i el producte final en forma de mapa de la contaminació lumínica.

## 1. La contaminació

La contaminació és l'acció d'alterar de forma nociva les condicions habituals d'una cosa o medi per mitjà d'agents físics o químics.

Hi ha diversos tipus de contaminació, entre els quals destaquen:

Segons el medi:

- Contaminació atmosfèrica: presència de contaminants a l'aire, com els òxids de carboni, els òxids de sofre i els òxids de nitrogen. Entre els seus efectes negatius es troben la pluja àcida, el deteriorament de la capa d'ozó, efecte hivernacle, escalfament global...
- Contaminació hídrica: presència de contaminants a l'aigua ( rius, mars, llacs, oceans...) com ara nitrats, fosfats, plàstics, substàncies radioactives, entre d'altres. Alguns dels seus efectes negatius són l'eutrofització (excés de nutrients dels productors que provoca que es proliferin i esgotin l'oxigen d'una zona, reduint així la possibilitat de vida destrucció de la biodiversitat, contaminació de la cadena alimentària, malalties, etc.
- Contaminació del sòl: presència de contaminants al sòl com ara els hidrocarburs, plaguicides, àcids, metalls pesats i materials radioactius, que el degraden i provoquen una alteració de la biodiversitat. Els seus efectes són la degradació del sòl, alteració de biodiversitat, desplaçament de poblacions, etc.

Segons l'agent contaminant:

- Contaminació química: l'agent contaminant és una substància química nociva. La contaminació química provoca sobretot malalties i tot tipus d'alteracions, com ho són les genètiques o les hormonals.
- Contaminació radioactiva: l'agent contaminant és un material radioactiu, com l'urani o el plutoni. Els seus efectes més importants són els danys a l'ADN, el càncer o la mort.
- Contaminació electromagnètica: els agents contaminants són les emissions electromagnètiques generades per diferents freqüències. Entre els seus efectes es troben la caiguda de cabell, cremades a la pell, malalties, nàusees,

augment de la pressió sanguínia, interrupció de la son, alzheimer, electrosensibilitat, etc.

Segons l'alteració de les condicions fisicoquímiques d'un espai determinat:

- Contaminació tèrmica: alteració perjudicial de la temperatura d'un medi.
- Contaminació acústica: presència de sorolls i vibracions a l'ambient que són molestos i posen en risc la salut dels habitants.
- Contaminació lumínica: alteració de la foscor natural de la nit, provocada per llum desaproveitada, innecessària o inadequada que prové de fonts artificials.

## **2. La contaminació lumínica**

La contaminació lumínica és l'emissió de flux lluminós provinent de fonts artificials en intensitats, direccions o rangs espectrals innecessaris i que canvia les condicions nocturnes naturals d'indrets foscos durant la nit.

La contaminació lumínica afecta a molts més éssers vius dels que aparenta. Els seus efectes no són tan fàcils de deduir, a diferència d'altres tipus de contaminació, principalment perquè s'ha començat a investigar fa considerablement poc temps i també perquè usualment no rep la importància que mereix.

### **2.1. Evolució de la contaminació lumínica**

El Planeta Terra es va formar fa més de 4.500 milions d'anys. A l'inici del Paleolític, en el període Càmbric (fa més de 500 milions d'anys), es van desenvolupar les primeres formes de vida complexes i es van adaptar a les condicions naturals del planeta. Si ens centrem en la relació entre el Sol i el moviment de la Terra, va ser llavors quan es va establir la seva rotació. La seva durada és de 23 hores, 56 minuts i 4 segons. Els ecosistemes s'han adaptat a l'alternació de la llum i la foscor i els éssers vius han desenvolupat les seves activitats, com la fotosíntesi, els hàbits d'alimentació i les migracions, entre molts d'altres, entorn d'aquesta durada específica. Les persones també ens hem adaptat a les variacions de la llum del Sol. Segons el nostre rellotge biològic, és a dir, congènitament, les activitats es duen a terme de dia i de nit té lloc el descans. Això transforma a l'home en un animal diürn per naturalesa.

Amb l'arribada de la Revolució Industrial, el conjunt de la mecanització i la intensitat de la producció, la massificació de la població a grans nuclis, la millora del sistema de transport i la concentració del capital va portar a la creació de sistemes d'activitat industrial durant 24 hores diàries, és a dir, també de nit. Aquí va sorgir la necessitat d'il·luminar espais durant la nit. El segle XIX va ser un període de grans progressos tecnològics. Gràcies a ells, va ser possible la producció d'electricitat per primera vegada i, conseqüentment, l'invenció de la bombeta per Thomas Alva Edison al 1879. Si es fes una comparativa amb l'embriogènesi, aquest és el que es podria considerar el zigot de la contaminació lumínica. A partir d'aquí i degut a la necessitat d'il·luminar els espais exteriors els progressos no van cedir. La tecnologia va anar evolucionant fins que va començar el procés d'enllumenat públic als espais exteriors. Aquest fet seria equivalent al naixement del que coneixem com a contaminació lumínica, que va tenir lloc a finals del segle XIX.

En el segle XX, l'enllumenat va evolucionar molt. Es van inventar nous tipus de bombetes i làmpades més eficients: les de vapor de sodi, les de vapor de mercuri, les fluorescents, les halògenes... La conseqüència va ser el considerable augment de la contaminació lumínica. En aquest període va sorgir l'inici de la lluita contra el fenomen. A pesar de ser un tema poc conegut, es va començar a investigar per la ciència i van aparèixer alguns activistes que exigien canvis. Un d'ells va ser el senyor Pere Horts, el nostre entrevistat. Tal i com ell explica, l'any 1996, juntament amb altres persones, va fundar l'associació Cel Fosc. Aquesta organització tenia com a objectiu divulgar i lluitar contra la contaminació lumínica i, més concretament, l'aprovació de normatives per frenar aquest fenomen. Tot va començar quan Cel Fosc va proposar als estudiants de Catalunya l'elaboració d'un mapa de contaminació lumínica de la seva comunitat. El diari "La Vanguardia" va publicar una pàgina explicant aquest estudi del fenomen. "I a partir d'aquí, això va ser el salt a la fama ... Els periodistes, que no en sabien res d'aquest tema, van començar a localitzar-me en veure la publicació." Cel Fosc va aprofitar la popularitat que havien guanyat per proposar l'elaboració d'una llei de regulació de la contaminació lumínica. El Parlament hi va estar d'acord i van enviar la proposta al Govern. Al cap d'uns mesos, es va crear una comissió tècnica per l'elaboració d'una llei sobre la contaminació lumínica a Figueres. "Com que qui l'havia proposat era Cel Fosc estàvem convidats a assistir-hi." Finalment, l'any 2001 es va aconseguir l'aprovació de la primera llei de contaminació lumínica a Catalunya per unanimitat. Al 2004 es

va aprovar oficialment una proposta de reglament per l'esmentada llei. Després d'una sèrie de problemes causats pel nou Govern, on fins i tot va haver d'intervenir el tribunal, es va acabar produint l'aprovació del reglament.

En el dia d'avui, malgrat els progressos per frenar la contaminació lumínica, la situació és preocupant, ja que el seu creixement és exponencial. Es creu que si es realitza una política de renovació d'instal·lacions en relació a l'enllumenat sense consideracions mediambientals, es podria triplicar o quadruplicar la contaminació lumínica actual en els pròxims anys. Com ja s'ha esmentat, la font principal de contaminació lumínica és l'enllumenat artificial nocturn d'exterior, que en el present en pot tenir molts orígens, a diferència del passat: enllumenats de carrers, indústries, vehicles, activitats comercials, espectacles, llum domèstic, etc. És probable que en un futur n'apareguin de nous. Observant com funciona la vida quotidiana actual, no és cap disbarat afirmar que seria impossible viure de la mateixa manera sense llum artificial. El raonament és simple: sense l'ús nocturn d'indústries, vehicles, espectacles o una cosa tan necessària com la llum domèstica ens trobaríem amb notables dificultats en el dia a dia. La situació complicada, ja que en lloc de progressar en la disminució de contaminació lumínica, la popularització de l'ús de bombetes més potents i eficients és responsable d'endarrerir el progrés i afavorir l'empitjorament de la situació. Caldria tenir en compte que la despesa energètica no és l'únic problema en el món de l'enllumenat, sinó que la contaminació lumínica té el mateix protagonisme. Podem estudiar els seus efectes sobre diferents éssers vius.

## **2.2. Efectes i trastorns dels éssers vius causats per la contaminació lumínica**

La contaminació lumínica té la capacitat d'alterar el sistema nerviós. Quan la llum artificial, present a tots els nuclis urbans, interacciona amb el cervell, altera les respostes neurològiques habituals, provocant canvis en la conducta i la fisiologia de l'organisme. L'organisme deixa d'alliberar la melatonina necessària perquè es manifesti la son, perturbant així el seu cicle.

### 2.2.1. La perturbació del cicle de la son

La glàndula pineal és una petita estructura ubicada al sostre del diencèfal, la part del cervell que es troba entre els hemisferis cerebrals i el tronc de l'encèfal. La glàndula pineal és la principal responsable de controlar els cicles circadians.

L'estímul que segueix aquest component cerebral per produir melatonina és la foscor. A través d'un procés de fototransducció, l'ull envia impulsos nerviosos a través del tracte retinohipotàlmic fins al nucli supraquiasmàtic, que es podria definir com el rellotge biològic dels mamífers. Després, el senyal surt per la medulla espinal, va a parar al gangli cervical superior i, finalment, a la glàndula pineal.

A partir d'aquest procés, quan la foscor és major a cert llindar, l'ull envia impulsos nerviosos corresponents a un nivell de foscor més baix, activant així la secreció de melatonina de la glàndula pineal.

La llum artificial altera la foscor, impeding la detecció de foscor de l'ull i, per tant, impeding la secreció de melatonina que produiria la son. Per aquest motiu, confirmat per diversos estudis, un d'ells l'estudi al laboratori de Steven Lockley en el Brigham and Women's Hospital in Boston (EE.UU.), la població que resideix al nucli urbà d'una ciutat és més propensa a patir insomni.

La contaminació lumínica pot provocar problemes més greus en la salut de les persones, el senyor Horts ho testifica: "Algunes d'aquestes en són l'obesitat, la diabetis i fins i tot d'altres més greus, les quals sempre en parlem amb molta cura. Tampoc no volem ser alarmistes, però hi ha estudis que conclouen que, efectivament, el dèficit de concentració de melatonina en sang pot acabar provocant problemes físics seriosos. Entre ells s'inclouen l'aparició de determinats tipus de càncer: càncer de pit en el cas de les dones i, en el cas dels homes, càncer de colon, de pròstata, etc."

### 2.2.2. Efectes als ecosistemes

La contaminació lumínica afecta als ecosistemes del planeta tant i com afecta les persones. La introducció de llum pot provocar modificacions de paisatge, alterar la conservació de la biodiversitat a causa de les alteracions perilloses de comportament en els organismes, i deteriorar els hàbitats.

La composició d'un ecosistema està formada per organismes vius (biocenosi), un medi físic juntament amb les condicions fisicoquímiques necessàries (biòtop) i les



relacions entre aquests dos elements. La contaminació lumínica provoca canvis de llum en els hàbitats dels entorns físics i altera aquestes relacions, perjudicant així els éssers vius que hi habiten. Portat a l'extrem, es pot produir l'extinció d'alguna de les espècies en algunes zones determinades, on l'alteració provocada per la llum sigui tan significant que la vida d'una espècie sigui impossible.

L'efecte més destacat de la introducció de llum que és present bàsicament a tots els organismes és l'augment d'activitat nocturna a causa de la dificultat d'identificació del punt on el dia arriba a la fi i comença la nit. Aquest efecte, a pesar d'afectar a la majoria d'organismes, té conseqüències diferents segons el grup classificatori d'éssers vius.

- **Insectes**

Detalls que ens poden semblar insignificants com, per exemple, que un insecte no es pugui guiar perquè es genera una situació de confusió entre la llum d'un fanal i la llum de la lluna; o bé la sensació de ser de dia de forma permanent, poden alterar comportaments d'espècies insectils.

Un estudi de la universitat Jukius-Maximilianus de Würzburg (JMU) corrobora l'impacte que té la contaminació lumínica en la desaparició de diverses espècies d'insectes i conclou que hi ha una seriosa desaparició mundial d'insectes degut a la cotaminació lumínica a les grans ciutats.

Per l'estudi, es va col·locar un total de 179 trapes, distribuïdes en àrees seminaturals, zones agrícoles i regions urbanes. El resultat va ser que la biomassa capturada a les grans ciutats era un 42% menor que la que van trobar a les àrees seminaturals i la dels entorns agrícoles era un 29% menor que la presentada en les regions seminaturals. La pèrdua de diversitat a les àrees agrícoles era d'un 56%. Aquest percentatge indica la quantitat d'espècies en perill d'extinció en aquesta regió per culpa de la contaminació lumínica en contrast amb les zones seminaturals. Un altre estudi d'aquesta universitat va concloure que la llum artificial de les ciutats està danyant la vista de milers d'espècies d'insectes que s'orienten naturalment per les llums de cossos amb llum pròpia provinents de la Via Làctea.

La contaminació lumínica també afecta negativament les pol·linitzacions. Seria lògic pensar que només perjudica la pol·linització nocturna, però la realitat és que la diurna també se'n veu afectada. La justificació d'aquesta afirmació es basa en dues raons:

- La disminució de pol·linització nocturna en un any determinat disminuirà la disponibilitat de flors per l'any següent, tant pels pol·linitzadors nocturns com pels diurns, perjudicant així els dos a la vegada.
- A banda dels organismes nocturns i diürns, no es poden ignorar els crepusculars, és a dir, els que concentren la seva activitat al crepuscle (alba i vespre). Els insectes crepusculars es perjudiquen a ells mateixos: al vespre disminueix la pol·linització i això fa que a l'alba disminueixi el nombre de flors, en addició de la disminució d'energia disponible al dia a causa de l'increment d'activitat a la nit.

Un altre efecte de la contaminació lumínica és l'increment de malalties per insectes transmissors. L'activitat de molts insectes transmissors de malalties és diürna, però la il·luminació nocturna incrementa l'activitat d'aquests animals, augmentant també els casos de malalties de transmissió per insectes com la malària o la febre del Nil. Un dels insectes transmissors present a Espanya és el mosquit tigre. Reduïnt la il·luminació nocturna s'aconseguiria una disminució dels casos de les malalties provocades per aquest animal.

- **Mamífers**

La contaminació lumínica ha estimulat la caça d'alguns mamífers depredadors nocturns com els llops, els óssos o els gats salvatges. La llum artificial facilita la visibilització de siluetes en la foscor i dificulta el sigil de les preses, provocant així un augment en la depredació en els ecosistemes nocturns.

- **Aus**

El 65% de les aus migratòries realitzen les migracions a la nit. La contaminació lumínica afecta en les seves migracions. Les aus es veuen atretes per llums que poden arribar a estar fins a 250 km de distància. Aquesta distància pràcticament cobreix tota la península ibèrica, ja que pràcticament no hi ha lloc on, en un radi de 250 km, no hi hagi cap ciutat emissora de llum. Aquestes llums provinents de ciutats alteren les rutes migratòries de les aus a causa d'aquesta atracció que generen, provocant que molts ocells acabin morts d'exhauriment. Per exemple, un dels llocs de la península per on passen més aus migratòries és l'Estret de Gibraltar. De la mateixa manera, Tànger i Algesires, llocs on hi ha molta contaminació lumínica, són responsables de contaminar l'estret. Durant el Memorial de l'11 de setembre es

produeixen milions de morts d'ocells, a causa de l'atracció de la llum, ja que sol coincidir amb l'època de migració de moltes espècies.

- **Rèptils**

Alguns rèptils com les tortugues es veuen afectats per la contaminació lumínica. Pateixen una alteració considerable en les seves capacitats orientatives; quan neixen necessiten esperar a l'horitzó nocturn per endinsar-se al mar. La contaminació lumínica és capaç d'alterar i impedir la visibilitat d'aquest, fent que les cries morin al dia següent o bé per deshidratació o bé per l'atac d'un depredador.

Hi ha reptils depredadors que concentren la seva activitat a la nit, com algunes serps, cocodrils, llangardaixos... La introducció de llum artificial podria donar com a resultat un augment de depredació.

- **Amfibis**

En els últims anys, diversos investigadors han afirmat que un terç dels amfibis es troben amenaçats a tot el món i que més del 40% estan experimentant un procés de desaparició que no cessa. Es creu que es van extingir més de 150 espècies d'amfibis en la última dècada.

Els investigadors Michael Bernard i Kacey Danay han afegit un element a la llista de causes, que conviu amb el canvi climàtic, la contaminació química i el fong *Batrachochytrium Dendrobatidis*: la contaminació lumínica. Com passa amb moltes espècies, la llum artificial altera el comportament, creixement i desenvolupament dels amfibis. La investigació es va realitzar amb 50 capgrossos distribuïts en 20 estanys artificials, estanys amb fosc natural de la nit i estanys exposats a una petita quantitat de llum artificial.

Aquesta investigació ha determinat que la contaminació lumínica té un impacte sobretot en els gripaus, en la etapa juvenil de la seva vida. El motiu principal és que la presència de llum artificial provoca que els gripaus joves siguin més actius per la nit i, per tant, creixin més lentament. Les granotes arborícoles també pateixen alteracions en el comportament, ja que prefereixen col·lonitzar estanys foscos i eviten els il·luminats. Per últim, en un estany amb llum artificial hi va haver una disminució del 15% en els gripaus que van fer la metamorfosi. Els investigadors creuen que quan estan exposats a la llum artificial són més actius i cremen més

energia, limitant l'energia disponible per a la metamorfosi, alterant aquest procés biològic.

- **Peixos**

Actualment, una desena part de la població mundial (600.000.000 persones) resideix a zones costeres a menys de 10 metres del nivell del mar. Considerant que la majoria d'aquestes residències són una font de llum artificial, la contaminació lumínica que experimenta la costa marina és considerable.

Un equip de científics internacional va realitzar un estudi enfocat en l'impacte de la contaminació lumínica en els peixos pallaso en els esculls al voltant de Moorea, a la Polinèsia Francesa. Els resultats que van obtenir van ser publicats a la revista "Royal Society B" amb el títol: "Long-term exposure to artificial light at night in the wild decreases survival and growth of a coral reef fish", que es tradueix com a: "L'exposició de llum artificial a la nit a la natura disminueix la supervivència i el creixement dels peixos d'escull de corall". Els investigadors van estudiar uns quants exemplars de peixos pallaso en les seves anemones en tres llocs diferents amb contaminació lumínica i, posteriorment, van realitzar una comparació amb un lloc proper amb condicions molt similars, però sense exposició a llum artificial.

Com a resultats, van trobar que els peixos pallaso i les anemones que estaven exposats a llum artificial a la nit tenien més mortalitat que els que es trobaven a alta mar i la probabilitat de supervivència disminuïa un 36%. Un altre efecte negatiu que van experimentar va ser la disminució de creixement corporal, que es trobava entre un 15% i un 21%, i un 51% de la disminució de l'altura, longitud i pes. Es creu que aquest resultat es deu a la reducció dels períodes d'inactivitat, necessaris per un creixement òptim, degut a la reducció de foscor provocada per la contaminació lumínica. La reducció dels períodes d'inactivitat també provoca que els peixos disposin de menys energia per desenvolupar-se, ja que part d'aquesta energia és utilitzada mentre són actius en els moments que, en condicions habituals, no ho serien.

Els peixos pallaso poden habitar en aigües costeres amb poca profunditat i són molt sedentaris a causa de la seva relació amb les anemones, que actuen com a un habitatge. Per aquest motiu, tal i com va afirmar l'autor principal de la investigació Jules Schligler, de l'École Pratique des Hautes Études PSL Université Paris (EPHE) i el Centre d'Investigació Insular i Observatori Ambiental (CRIOBE), són molt

vulnerables a la llum nocturna provinent de faroles, ports, molls o, en casos reduïts, residències. Al dependre de les anemones, que no es poden desplaçar, no tenen escapatòria de la llum artificial en el cas que es vegin afectats per ella.

- **Plantes**

D'acord amb un estudi publicat el novembre de 2021 centrat en la capacitat termorreguladora dels arbres de les ciutats europees, les espècies vegetals estan experimentant un augment de 4°C per sobre dels nivells previs a la revolució industrial.

El mecanisme regulador dels cicles dels arbres està compost per dos factors: la temperatura i la llum. La temperatura està augmentant degut al canvi climàtic i aquest augment és encara més destacat a les ciutats. Per una altra banda, les condicions de llum estan siguent alterades per la contaminació lumínica. A les èpoques més fredes, els arbres poden sortir perjudicats a causa de la contaminació lumínica. Els arbres de fulla caduca perden les fulles a les èpoques fredes com a mecanisme de defensa a les baixes temperatures. La llum artificial pot provocar la inhibició de la caiguda de les fulles, deixant els arbres menys preparats per a les gelades, incrementant així la possibilitat de caiguda de branques.

### **L'alteració del cicle de floració de les plantes**

Hi ha plantes que poden florir dues setmanes abans del moment habitual, desajustant així el cicle i creant una disminució en la pol·linització. Per entendre la causa d'aquest fenomen, s'ha de tenir clar el cicle de floració de les plantes. Les plantes tenen unes respostes a la llum, com el fototropisme, que és l'acció de la planta d'inclinar-se o créixer en direcció a la llum, o la fotoperiodicitat, que inclou la floració i altres processos regulats pel fotoperíode (la resposta a la durada del dia). Segons això, existeixen plantes de dia curt i plantes de dia llarg. Les de dia curt floreixen quan la duració del dia és menor a un determinat llindar, mentre que les de dia llarg floreixen quan la duració del dia és major a un determinat llindar. La contaminació lumínica té la capacitat de crear una falsa extensió del dia, fent així que les plantes de dia curt segueixin rebent llum quan suposadament no n'haurien de rebre i que, per tant, floreixin més tard, i que les plantes de dia llarg rebin llum abans de quan n'haurien de rebre i que, per tant, floreixin més aviat. Aquest fet, per descomptat, genera alteracions en moltes més espècies que interaccionen amb les

plantes, i a les espècies que interaccionen amb les que en un principi han interaccionat amb les plantes, creant així una cadena.

Aquests són els efectes de la contaminació lumínica en els éssers vius del planeta. Ara bé, on es fa més patent a simple vista el seu impacte és en l'astronomia. La quantitat d'astres visibles a simple vista es pot reduir fins a un 90% en els casos on la contaminació és més alta. Per una altra banda, també limita la capacitat d'observació dels telescopis professionals i contamina amb diferents colors la brillantor del cel. Aquests efectes en l'astronomia són els que investigarem més endavant en el treball de camp.

### **2.3. Mesures de prevenció contra la contaminació lumínica**

Sabem que no podem desfer-nos de la contaminació lumínica, com ja hem dit anteriorment. No obstant, sempre que no podem desfer-nos d'un problema, hem d'aprendre a controlar-lo, ja que deixar que existeixi no és una opció. "Òbviament si no es posen mesures la situació evolucionarà fatal, molt malament. Hem de tenir compte que els resultats d'un grup d'investigació de la contaminació lumínica quantifica l'increment mundial d'aquest fenomen en relació a un 2,2% a l'any, és a dir, l'empitjorament del problema. Si no es posen mesures per frenar aquest procés, d'aquí poc no hi haurà manera de revertir-ho de cap de les maneres." Com es pot veure, les paraules del senyor Horts són clares i concises: s'ha d'actuar ara mateix perquè si no serà massa tard. Podem posar mesures per controlar la contaminació lumínica. Les estratègies de minimització de l'impacte de la contaminació lumínica inclouen:

- Orientació adequada dels punts d'il·luminació. Un exemple seria que l'orientació de totes les faroles sigui direcció cap a baix.
- Ús de sensors de moviment que tinguin control sobre l'encesa i apagament dels llums. Això permetria evitar un excés de consum que provocaria contaminació lumínica. En podríem trobar una aplicació a l'enllumenat públic. En comptes que la llum estigués encesa tota la nit, només ho estaria quan algú activa el sensor. Després, es tornaria a apagar.
- Ús d'un tipus de làmpada poc contaminant: buscar alternatives a les llums més contaminants, com els LED. El dilema que sorgeix planteja que els LED,

éssent molt eficients i tenint un baix consum, són els que generen més contaminació lumínica. La llum dels LEDs és molt blanca i conté un punt blau, que és la més perjudicial. Tal i com explica Pere Horts, a banda de seguir les mesures de minimització de contaminació lumínica, com la focalització de la llum i l'evitació de la projecció de llum al cel, s'ha de prioritzar l'ús de LEDs amb temperatura de color inferior a 2700K. De fet, si és possible, s'haurien d'utilitzar LEDs amb temperatura de color inferior a 2000K. Uns d'aquests són els LEDs PC Àmbar. L'ús de làmpades amb baixa temperatura de color també reduiria els problemes d'insomni provocats per la contaminació lumínica. Com el senyor Horts testifica, "si tu a la nit t'exposes a una llum blanca, la concentració de melatonina en sang serà zero. En canvi, si t'exposes a una llum vermellova, tindràs un 50% de melatonina en sang, per exemple."

- Introducció de llum on realment sigui imprescindible. Els elements que poden prescindir de la il·luminació o que pateixen d'una il·luminació excessiva, com els llocs turístics, no haurien de ser il·luminats. "Podem trobar imatges de la badia de Roses i la de Calafell, o fins i tot la platja de Barcelona totalment il·luminada. Això és una bogeria, ¿des de quan s'ha d'il·luminar una platja?. Una platja és un espai natural que durant el dia admet determinats usos, però que si s'il·lumina durant la nit es converteix en un espai lúdic. No es té en consideració que aquella llum que s'envia a l'aigua afecta negativament els habitants que viuen al mar." Una solució menys radical seria fer ús de sensors com els que s'han mencionat anteriorment per il·luminar els llocs turístics només en presència de visitants.
- Prohibició de les llums que projectin al cel.

### **3. Efectes econòmics de la contaminació lumínica**

La contaminació lumínica és causant també de despeses econòmiques i energètiques, provocades per l'ús de bombetes. De fet, com testifica el senyor Horts, és dels pocs tipus de contaminació que combatre-la redueix despeses econòmiques en lloc d'augmentar-les. "De totes les formes de contaminació que existeixen, la lumínica és l'única que es guanyen diners combatent-la. Per combatre els altres tipus s'han de fer moltes inversions a fons perdut, però per la lumínica no."

Aquesta relació entre el progrés en la lluita contra la contaminació lumínica i el benefici econòmic es troba a les fonts de llum. Les làmpades més contaminants solen ser les que tenen un preu més elevat. “Si l’Administració canviava les bombetes de llum blanca de l’enllumenat per bombetes de llum ataronjada hi hauria un estalvi de 16 milions de pessetes anuals, en contrast amb els 60 milions que costava la il·luminació pública a Figueres.” Com ja es pot intuir, no totes les fonts de llum tenen el mateix impacte ambiental en relació a la contaminació lumínica. Hi ha molts tipus de làmpades i bombetes, però la classificació més general és:

- Bombetes incandescentes

Les bombetes incandescentes són les primeres bombetes de la història creades per l’home. Són bastant antiquades, ja que la superioritat dels nous models les ha ensorrat. Són molt ineficients energèticament.

Funcionament: s’utilitza un corrent elèctric per escalfar un filament compost d’un conductor, el tungstè, que es troba a dins d’un bulb de vidre omplert d’un gas inert. S’aprofita la llum que emet en escalfar-se per il·luminar els espais.

#### Làmpades halògenes:

Les làmpades halògenes són una modificació de les incandescentes. Contenen una petita quantitat d’un gas halogen a dins del bulb, a part del gas inert. El bulb de les halògenes sol ser d’un compost de quars, ja que és més resistent a les altes temperatures. El rendiment és major a causa del cicle de l’halogen.

Funcionament: s’utilitza un corrent elèctric per escalfar el tungstè. Quan el tungstè s’evapora pel calor, reacciona amb els halògens i es formen halogenurs de tungstè en estat gasós. Aquests compostos, en entrar en contacte amb els filaments, hi depositen el tungstè i alliberen els halògens, creant així el cicle de l’halogen.

- Làmpades de vapor de mercuri de baixa pressió (fluorescents):

Les làmpades fluorescents estan formades per dos components: l’encebador i el llast.

- Encebador: és una ampolla de vidre que conté argó, neó i gas mercuri. En el seu interior hi ha una làmina bimetàl·lica en forma d’U. També hi ha un condensador amb la funció d’amortiguar l’espurna.



- Llast: és un reactor constituït per una bobina de filferro de coure enrotllada sobre un nucli d'acer elèctric.

Funcionament: en aplicar la tensió d'alimentació, els gasos s'ionitzen, augmenten la seva temperatura i deformen la làmina bimetàl·lica. La deformació de la làmina permet el tancament del circuit i la consegüent ionització dels gasos propers als filaments. Després, es tanca el contacte i uns segons després s'obre novament. Això produeix una desaparició sobtada del camp magnètic, que genera un pic d'alta tensió que produeix plasma conductor. Aquest plasma interactua amb els gasos i els excita, fent que desprenguin llum.

- Làmpades fluorescents compactes (de baix consum):

Les làmpades fluorescents compactes són similars a les fluorescents, però tenen un consum més baix i una vida útil més alta. Com a inconvenient, la reproducció cromàtica és menor a la de les incandescents i halògenes (IRC > 80).

Funcionament: el seu funcionament és el mateix que el del tub fluorescent, però són més petites i manejables.

- Làmpades de vapor de mercuri d'alta pressió:

Les làmpades de vapor de mercuri d'alta pressió contenen tub de descàrrega ple d'un gas inert, com l'argó o el neó. També conté mercuri. L'ampolla exterior protegeix el tub de descàrrega i també està plena d'un gas inert.

Funcionament: Quan es tanca l'interruptor, comença la ionització del gas del tub de descàrrega i el mercuri comença a augmentar la seva temperatura. També augmenta la pressió dins el tub de descàrrega. En passar uns minuts, el mercuri es volatilitza completament i desprèn llum.

- Làmpades LED (Díode emissor de llum):

Les làmpades LED utilitzen díodes emissors de llum per generar llum. Perquè la llum emesa sigui considerable, les làmpades LED estan constituïdes per agrupacions de LEDs. Els LEDs són díodes d'unió p-n formats per un material semiconductor amb dos terminals que emet llum en ser activat. Tenen una vida útil molt extensa i una gran eficiència energètica.

Funcionament: En aplicar tensió, els electrons es recombinen amb els forats de la unió p-n i alliberen energia en forma de fotons. D'aquesta manera s'aconsegueix generar llum.

- Làmpades de vapor de sodi:

La làmpada de vapor de sodi utilitza sodi en estat gasós per produir llum. Produeixen una llum de color groc ataronjat. Hi ha dos tipus de làmpades de vapor de sodi:

· Làmpada de vapor de sodi de baixa pressió: és la més eficient, però la que té pitjor reproducció cromàtica.

· Làmpada de vapor de sodi d'alta pressió:

Se sol utilitzar per l'enllumenat públic gràcies a una millor reproducció cromàtica. El seu rendiment és pitjor.

Funcionament: En les d'alta pressió, dins del tub de descàrrega hi ha sodi, gas xenó i vapor de mercuri. La llum es genera quan els electrons del corrent xoquen amb els àtoms d'aquests gasos i s'exciten, per després tornar a la seva òrbita i desprendre llum en el procés. Les de baixa pressió funcionen de manera similar, però contenen argó i neó.

- Làmpades d'halogenurs metàl·lics:

El tub de descàrrega d'aquestes làmpades conté neó i/o argó, una dosi de mercuri i un halogenur com el sodi, l'indi, l'itali o el liti. L'ampolla exterior conté un gas inert.

Funcionament: el seu funcionament és molt semblant a les làmpades de vapor de mercuri. Requereixen una tensió d'encesa bastant elevada. En aplicar-la, un flux d'electrons travessa el gas i excita el contingut del tub de descàrrega. La llum que despren pot ser de diferents colors depenent dels elements que componen el tub de descàrrega.

Tipus de bombeta	Avantatges	Inconvenients
Incandescents	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preu baix</li> <li>- Temperatura de color baixa</li> <li>- No són molt agressives en relació a la contaminació lumínica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiència baixa</li> <li>- Consum alt</li> <li>- Vida útil baixa: 1.000 hores</li> </ul>
Halògenes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llum potent</li> <li>- Consum mig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiència mitjana</li> <li>- Emet molta calor</li> </ul>

	- Temperatura de color baixa	- Vida útil baixa: 3.000 hores
Fluorescents	- Vida útil alta: 30.000 hores	- Conté gasos tòxics - Temperatura de color alta
Làmpada de vapor de mercuri d'alta pressió	- Temperatura de color mitjana	- Conté gasos tòxics - Vida útil baixa: 8.000 hores
De baix consum	- Eficiència alta - Consum baix (80% menys que les incadescents) - Vida útil mitjana: 15000 hores	- Preu elevat - Llum no instantània - Conté gasos tòxics
LED	- Eficiència molt alta - Consum baix - Vida útil molt alta: 50.000 hores - Bon rendiment de color	- Preu elevat - Poden generar molta contaminació lumínica
Làmpada de vapor de sodi d'alta pressió	- Temperatura de color baixa - Vida útil mitjana: 12.000 hores	- Preu elevat
Làmpada de vapor de sodi de baixa pressió	- Temperatura de color baixa - Eficàcia lluminosa elevada	- Preu elevat - Vida útil baixa: 8.000 hores
Làmpada d'halogenurs metàl·lics	- Eficàcia lluminosa elevada - Bon rendiment de color - Vida útil alta: de 15.000 a 20.000 hores	- Temperatura de color alta (normalment)

Amb aquesta taula podem observar que les làmpades amb més avantatges i menys inconvenients són les d'halogenurs metàl·lics, les de vapor de sodi i les LED. Un dels avantatges més importants en relació a la contaminació és la temperatura de color. La temperatura de color de la llum és el terme que relaciona el color visible que emet una font de llum segons la seva temperatura. S'obté realitzant una comparació entre el seu color dins l'espectre lluminós amb el de la llum que emetria un cos negre escalfat a una certa temperatura. S'expressa en graus Kelvin (K). La temperatura de color és un gran indicant del grau de contaminació lumínica que pot provocar una làmpada, de forma que com més baixa és, menys agressiva és la làmpada.

Classificació de la llum segons la temperatura de color:

- 2700 - 3000K →llum blanca càlida: colors ataronjats i groguencs.
- 3000 - 4500K →llum blanca neutra: colors groguencs i blancs
- 4500 - 6000K →llum blanca freda: colors blancs blavosos

Com que la temperatura de color és un bon indicador de si la làmpada és molt contaminant o no, es pot utilitzar per comparar-la amb el preu de cada làmpada per corroborar l'afirmació del senyor Horts: "De totes les formes de contaminació que existeixen, la lumínica és l'única que es guanyen diners combatent-la."

La següent taula compara el preu dels tipus de làmpades i bombetes mencionats anteriorment amb la seva temperatura de color. El preu d'aquestes ha sigut extret de la llista de preus del fabricant Osram del setembre de 2022, excepte la de vapor de sodi de baixa pressió, que és de marca Philips i ha estat extret d'una botiga online. Hi ha tants tipus de bombetes que és molt difícil fer una comparació precisa sobre el preu, però ja és suficient per la comparació que volem realitzar.

	Preu (€)	Temperatura de color (K)
Incandescents (190 lm)	3,50€	2700K
Halògenes (1400 lm)	6,90€	2700 - 3000K
De vapor de mercuri d'alta pressió	Descontinuada (Prohibit el seu ús)	3500 - 4500K
Fluorescents (1350 lm)	4,70€	4500 - 6500K

De baix consum (1200 lm)	11,35€	4500 - 6500K
De vapor de sodi d'alta pressió (6200 lm)	20,10€	2300K
LED (6000 lm)	104,20€	2000 - 6500K
De vapor de sodi de baixa pressió (13600 lm)	83,25 €	2000K
Halogenurs metàl·lics (6200 lm)	20,10€	2700 - 6500K

Com es pot observar, la temperatura de color té una certa relació amb el preu de les làmpades, malgrat algunes excepcions. Com més baixa és, més reduït és el preu de la làmpada. Hi pot haver dificultats per interpretar-ho degut a la diferència de lumens de les làmpades, que dificulta la comparació entre aquestes. No obstant, ens adonem que el preu de les incandescents i halògenes és molt reduït i tenen una temperatura de color baixa. També ens adonem que les fluorescents, en concret les de baix consum, tenen un preu elevat i una temperatura de color alta. Les de vapor de mercuri tenen una temperatura de color alta i està prohibit el seu ús, per tant, la seva venda cada vegada és menys freqüent. Els LEDs també tenen un preu bastant elevat, però la seva temperatura de color pot variar molt. Uns dels millors tipus de LED són els *PC Àmbar*, amb una temperatura de color de 2000K. Per últim, les de vapor de sodi i halogenurs metàl·lics no tenen preus tan desorbitats i mantenen una temperatura de color baixa.

### 3.1. Espectrometria

L'espectrometria és la tècnica que s'utilitza per mesurar la quantitat de llum que absorbeix una substància química. Estudia quin volum absorbeix, despedeix o dispersa un objecte. L'espectroscòpia descompon la llum i mesura diferents longituds d'ona de llum visible i no visible. Més endavant, en el treball de camp, hem mesurat els espectres corresponents a tots els tipus de lluminàries que apareixen en el mapa de l'enllumenat de Palafrugell.

## 4. La contaminació lumínica a Palafrugell

A la part teòrica, hem informat sobre que és la contaminació lumínica, la importància que té a la nostra vida, quins efectes té sobre la nostra salut i la de la resta d'organismes de la Terra, hem explicat l'evolució del fenomen i per què sorgeix en la

humanitat la necessitat d'il·luminar artificialment els períodes de foscor. Després d'entendre la rellevància d'aquest fenomen que a vegades no rep el protagonisme que mereix, hem realitzat una investigació sobre la presència de la contaminació lumínica al municipi de Palafrugell, que inclou Calella, Tamariu, Llafranc i Llofriu. En aquest apartat es troba l'explicació de tots i cada un dels aspectes relatius a la investigació: la metodologia de l'estudi, el funcionament del medidor de contaminació lumínica que hem utilitzat i els resultats de l'estudi.

Els resultats tindran tres funcions:

- Crear un producte final: un mapa que exposi la contaminació lumínica de cada de Palafrugell
- Trobar una relació entre l'ús de determinats tipus de làmpades i la contaminació lumínica a Palafrugell. Per fer-ho, realitzarem una comparació entre el mapa de l'enllumenat de Palafrugell i el mapa de contaminació lumínica que hem creat.
- Treure una conclusió final real i precisa sobre la situació actual de la contaminació lumínica a Palafrugell.

Per completar la investigació hem mesurat els espectres de cada tipus de làmpada present a l'enllumenat de Palafrugell.

#### **4.1. Metodologia de la investigació**

El sistema utilitzat per la investigació ha estat assessorat i guiat en tot moment pel senyor Rafel Balaguer, president d'AstroGirona. Ell ens ha proporcionat les pautes, els materials i totes les eines necessàries perquè el treball de camp sigui real, precís, vàlid i rigorós.

Al setembre del 2022, el senyor Balaguer ens va proporcionar un medidor de contaminació lumínica, l'Unihedron SQM-L. Vam aconseguir un mapa del terme de Palafrugell a l'Oficina d'Informació i Turisme per determinar els punts on pertocava fer una mesura. La distribució dels punts va ser determinada *Ad Libitum*, sense seguir cap distribució sistemàtica. Després d'haver marcat tots els punts, calia que sortíssim a realitzar les mesures en els dies de lluna nova, o bé en dies de lluna

però en una hora prèvia a l'ortus lunar. D'aquesta forma, la llum lunar no afectaria els resultats de les mesures.

Les mesures de contaminació lumínica en el nucli de Palafrugell van tenir lloc en els dies 25, 27, 29 i 30 d'octubre del 2022. Les mesures a Calella van ser preses el dia 24 de novembre de 2022. A Llafranc, vam anar a mesurar els dies 24 i 26 de novembre de 2022. Per últim, les mesures corresponents a la zona de Tamariu van ser preses els dies 26 de novembre i 23 de desembre de 2022.

Per la part de l'espectrometria, la nit del 22 de febrer de 2023 vam anar a fotografiar cadascun dels tipus de làmpades de l'enllumenat de Palafrugell. Posteriorment vam utilitzar un programa per crear un gràfic de l'espectre de cada tipus de làmpada.

- **L'Unihedron SQM-L**

L'Unihedron SQM-L és l'aparell que hem emprat per determinar la qualitat del cel. El mesurador té un fotodíode integrat, que és un semiconductor amb una unió PIN amb polarització inversa, de manera que en ser excitat per la rebuda d'una entrada de llum produeix una certa circulació de corrent. El fotodíode inclou una lent que es troba entre el medi exterior i el semiconductor i fa que la llum arribi a la part sensible del dispositiu.

Les estrelles són fonts de llum. Depenent de la quantitat d'estrelles visibles, l'entrada de llum serà major o menor, la qual cosa determinarà el nombre representat a la pantalla, corresponent a la qualitat del cel. Com més alt sigui el nombre que marca la pantalla menys contaminació lumínica hi ha i com més baixa és la xifra de la mesura, més alta és la contaminació. El seu ús no és gaire complicat. Tan sols s'ha de prémer un interruptor localitzat a la part frontal de l'aparell i, després d'uns segons de càlcul, apareix un nombre a la petita pantalla localitzada també a la part frontal que correspon als de la mesura. Té un balanç de 0-20°, que permet mesurar fins a l'àrea més petita amb exactitud. Com més alta surt la mesura, vol dir que més objectes de menys magnitud (qualitat característica dels astres relativa a la seva lluminositat, consistent en un valor numèric donat a partir d'una referència arbitrària, que va creixent com més dèbil és l'astre. La magnitud absoluta és la magnitud aparent que tindria un astre si estigués situat a una distància de 10 pàrsecs (unitat de longitud que val 3,26 anys llum i és igual a la distància d'un cos celeste que té una paral·laxi anual d'un segon d'arc) de la Terra.

Hi ha també altres magnituds de lluminositat. La magnitud aparent és la unitat de mesura de la lluminositat aparent d'un astre. És logarítmica i es calcula a partir de la lluminositat aparent d'aquest i d'una lluminositat aparent de referència. La magnitud bolomètrica d'un astre és mesurada en totes les longituds d'ona de l'espectre electromagnètic, que és el conjunt de totes les possibles ones electromagnètiques, des de les de major freqüència, com els raigs gamma i raigs X, fins a les de menor freqüència, com les ones de ràdio. Finalment, la magnitud visual és la magnitud aparent d'un astre mesurada en la zona de l'espectre electromagnètic en què l'ull humà és sensible.

#### **4.2. Creació del mapa amb ArcGIS Pro**

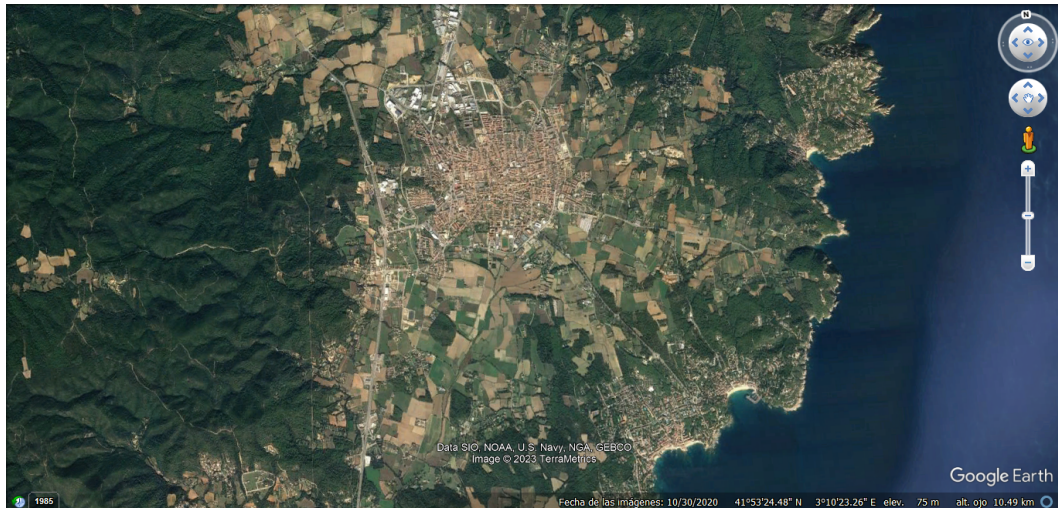
Per crear el mapa de contaminació lumínica de Palafrugell, hem utilitzat el programa ArcGIS Pro. ArcGIS Pro és un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) d'escriptori per crear i treballar amb dades espacials. Proporciona eines per visualitzar, analitzar, recopilar i compartir dades en entorns 2D i 3D amb referències geogràfiques. Qualsevol objecte d'un SIG està descrit fonamentalment per mitjà d'unes dades geogràfiques que determinen la seva localització sobre la superfície terrestre. El programa s'utilitza bàsicament per calcular els temps de resposta en cas d'emergència a conseqüència d'un desastre natural, o bé per detectar espais que calgui protegir de la contaminació.

Amb totes les mesures ja preses dins d'un transsecte (zona on es fa una recollida de dades o de qualsevol altre material), hem passat a crear el mapa fent ús d'aquest software. Mitjançant un projecte de prova, ensenyarem quins són els passos que hem seguit per la creació del mapa:

1. Escollir una base cartogràfica per poder treballar-hi a sobre utilitzant el programa.

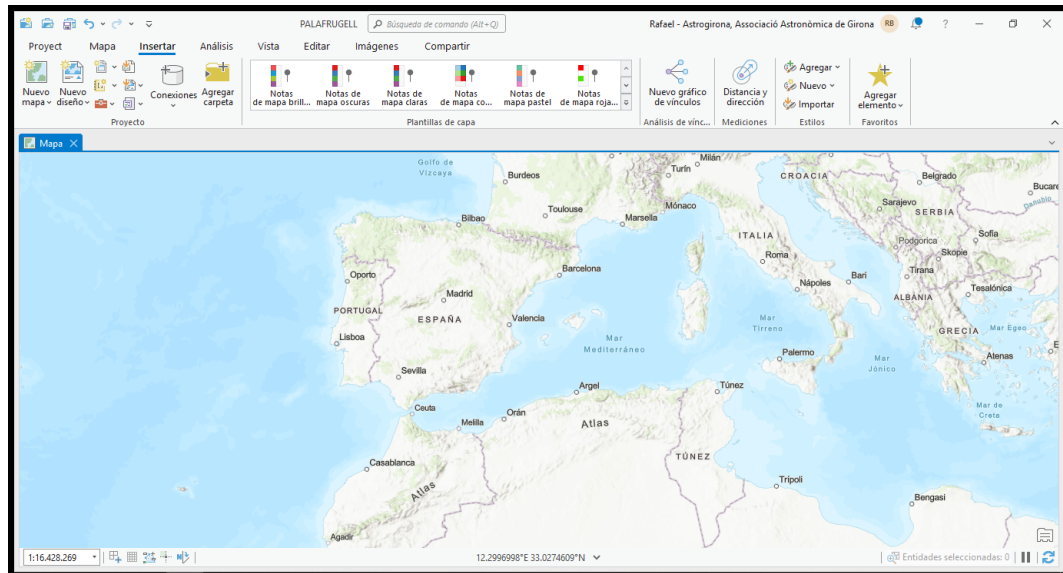
En el nostre cas, hem fet ús de la plantilla de Google Earth dotada amb la màxima resolució (8K). Hem optat per Google Earth perquè el seu ús és gratuït i sense drets d'autor. Hem seleccionat l'opció del mapa mut per facilitar la feina.





Base cartogràfica (mapa de Palafrugell). Font: Google Earth.

2. Entrar al programa ArcGIS Pro i seleccionar l'opció "Nou Projecte". Tot seguit, anomenar el projecte.

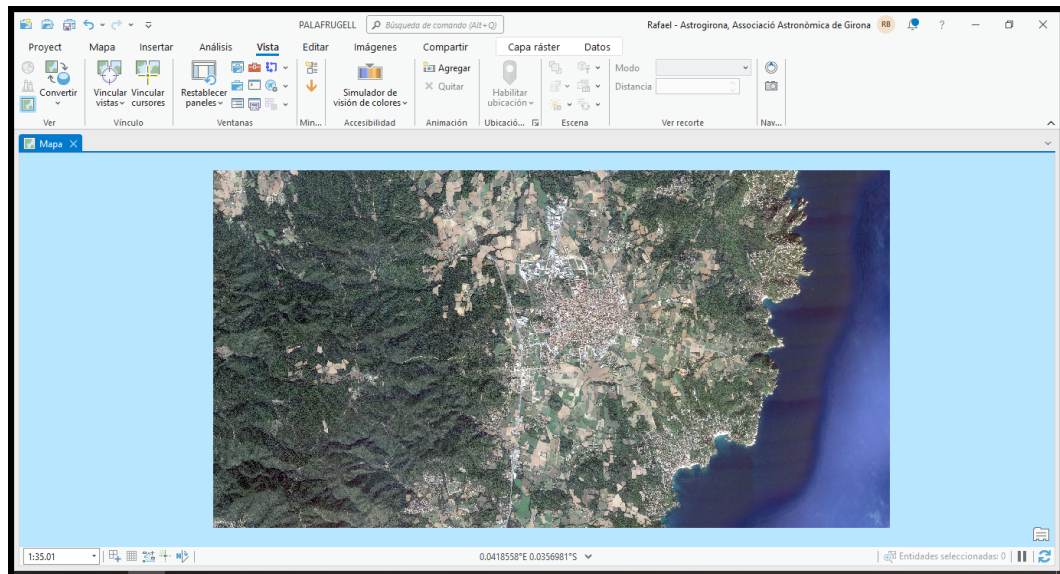


Captura de pantalla, font pròpia

Nosaltres l'hem anomenat "Palafrugell".

3. Seleccionar l'opció "Afegir dades al mapa" i "Importar base cartogràfica"
4. Seleccionar l'opció "Vista" i fer clic a "Vista de contingut". Seguidament fer clic dret a la base cartogràfica i seleccionar "Zoom a Capa".

D'aquesta forma haurem aconseguit inserir la base cartogràfica.



Captura de pantalla, font pròpia

5. Seleccionar l'opció "Vista", després "Vista catàleg" i "Base de dades".

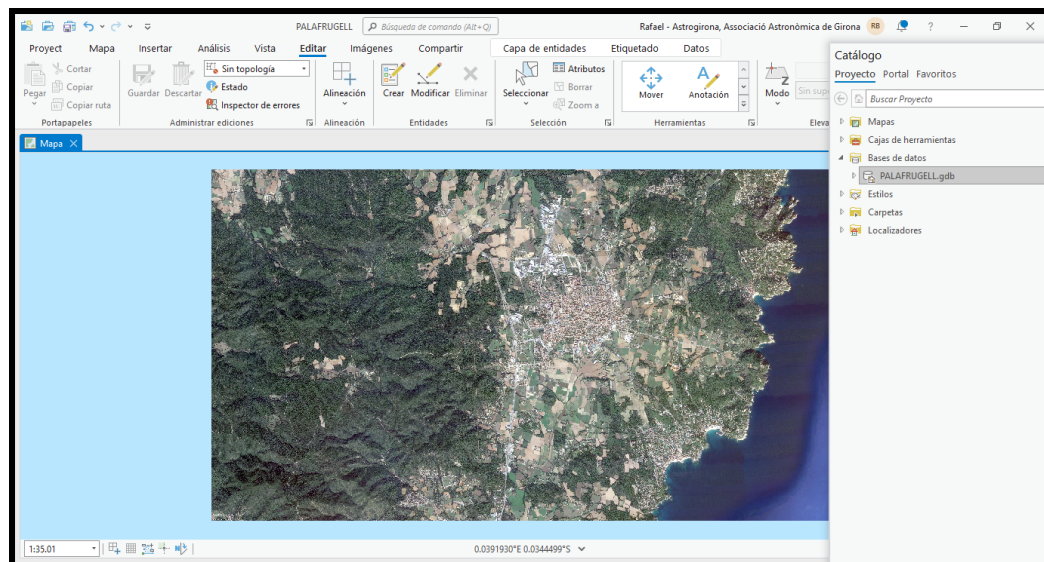
A la base de dades apareix el nom del projecte.

6. Fer clic amb el botó dret en el nom del projecte, seleccionar "Nou", "Classe d'entitat" i "Definir el nom".

Nosaltres l'anomenarem "mesures".

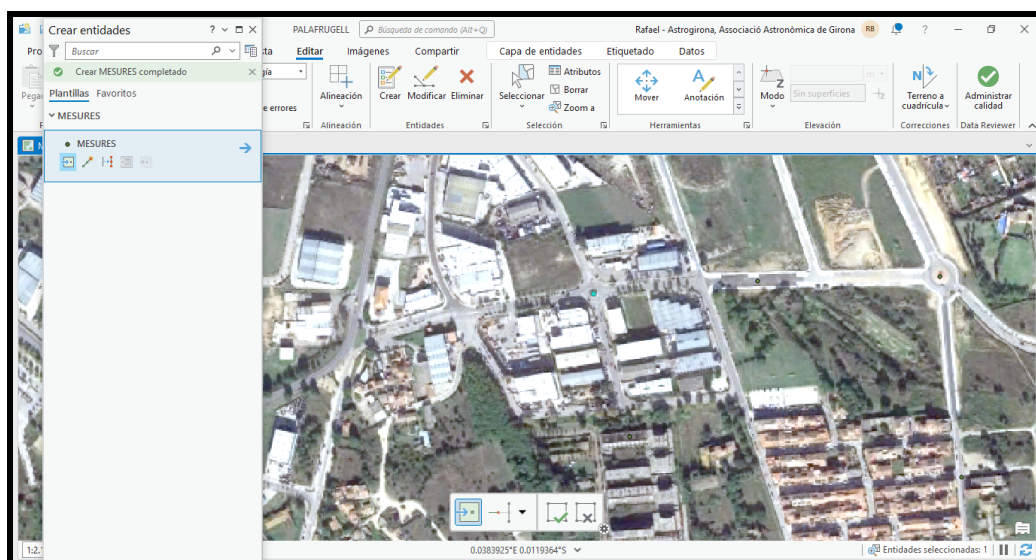
7. Tornar a "Classe d'entitat" i seleccionar la classe d'entitat més convenient.

En el nostre cas l'entitat que seleccionem és el punt.



Captura de pantalla, font pròpia

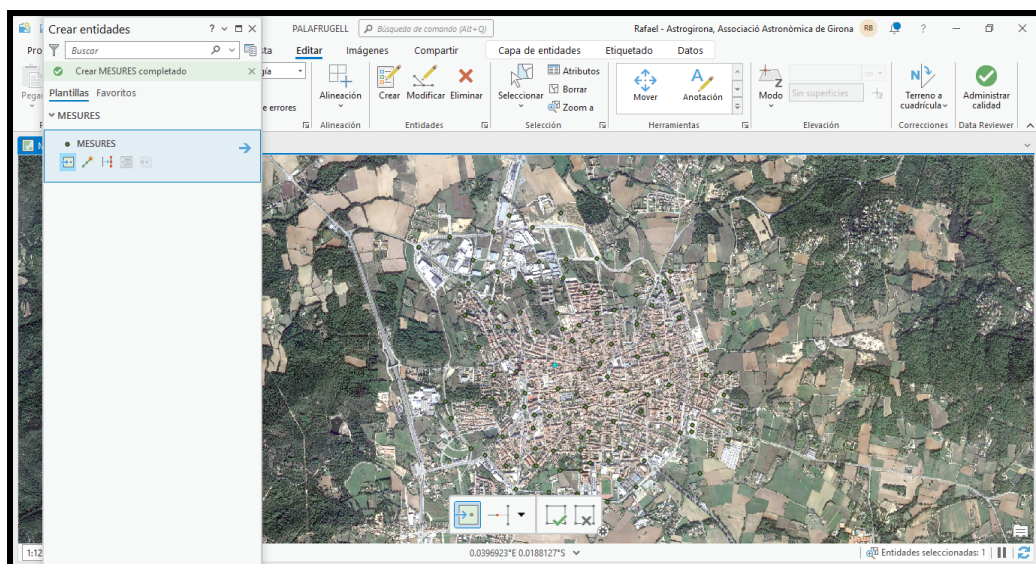
8. Seleccionar l'opció "Editar" i obrir la pestanya "Crear". Després, fer clic a "Mesures" i "Crear punt".



Captura de pantalla, font propia

9. Introduir els punts amb el cursor en la base cartogràfica de manera manual.

Resultat del mapa de prova amb tots els punts:

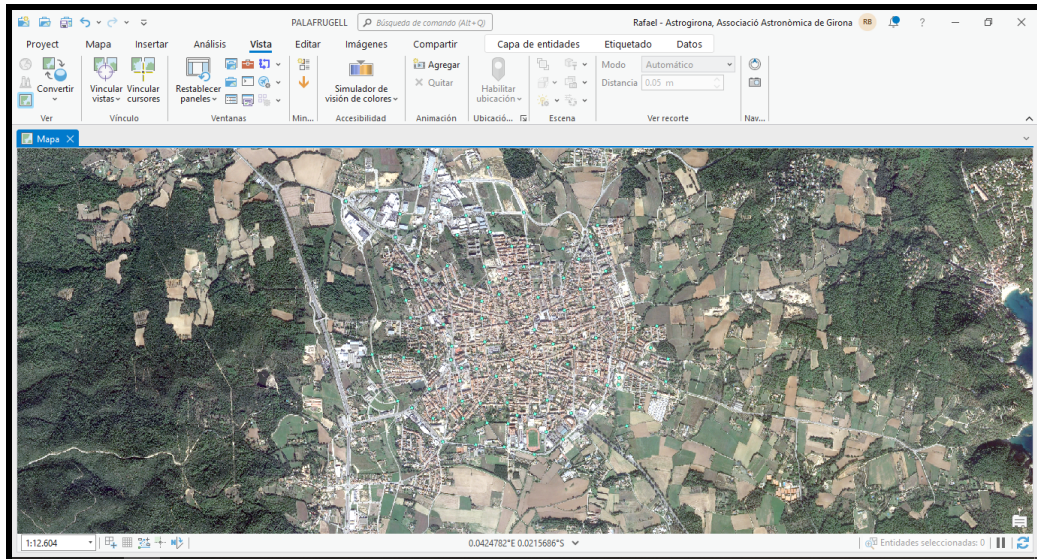


Captura de pantalla, font propia

Canviar el color i la mida dels punts:

10. Obrir l'opció "Vista", fer clic a "Contingut" i seleccionar "Mesures".

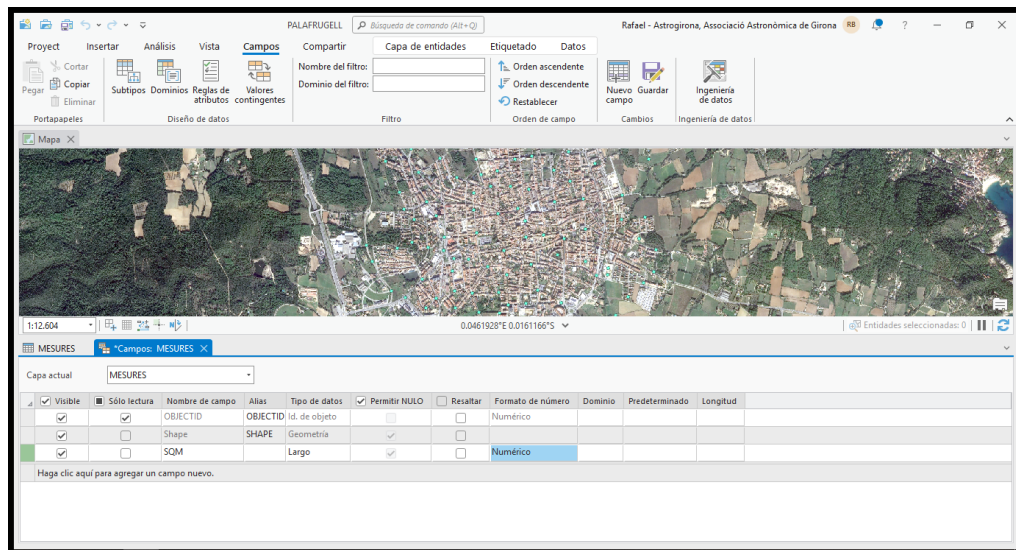
Aquí apareix una gamma de colors per escollir. Nosaltres hem escollit els colors que més s'ajustaven a un mapa de contaminació lumínica.



Captura de pantalla, font propia

## Introduir els valors associats a cada punt

11. Seleccionar “Vista de contingut”, fer clic dret a “Mesures” i escollir l’opció “Taula d’atributs”.



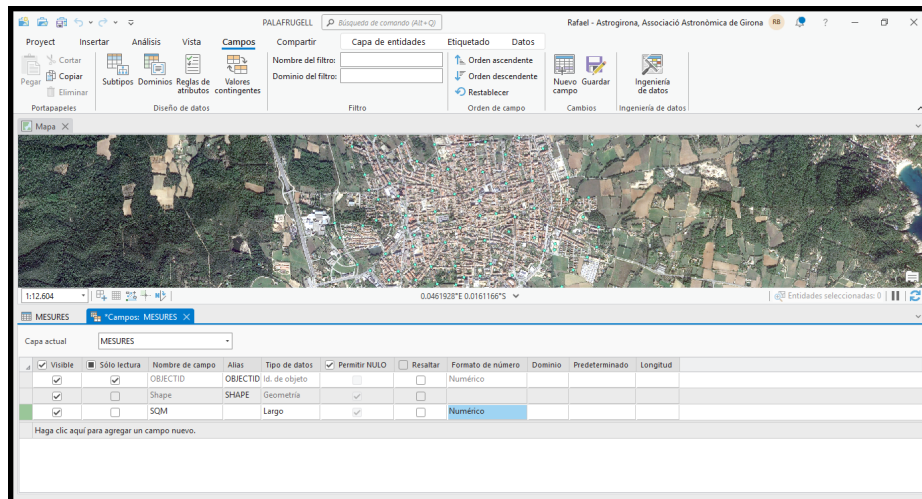
Captura de pantalla, font propia

12. Fer clic a l’opció “Camp”, després a la pestanya “Agregar” i anomenar la nova columna.

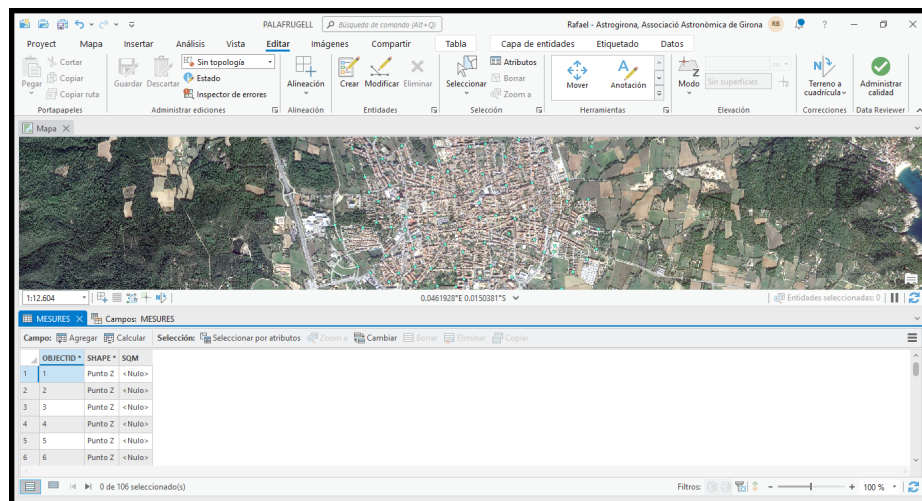
Nosaltres li hem posat el nom de “SQM”. Aquesta columna servirà per introduir totes les mesures.

13. Seleccionar l’opció “Numèric” i “Guardar”.

Aquest pas defineix els valors com a numèrics



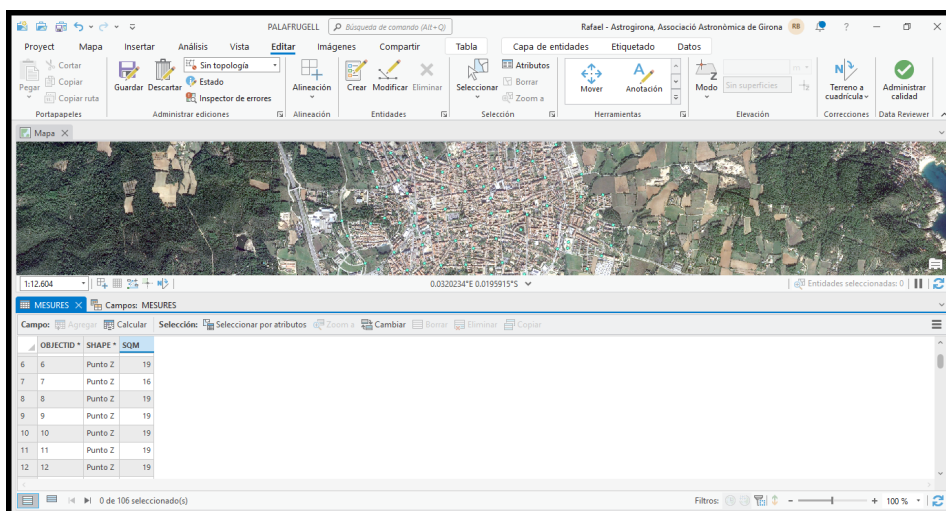
Captura de pantalla, font propia



Captura de pantalla, font propia

14. Introduir tots els valors de les mesures a la columna.

Es pot fer de manera manual o, si les dades han sigut introduïdes en un full Excel prèviament, com en el nostre cas, es poden copiar i enganxar



Captura de pantalla, font propia

## Crear un spline (gràfic)

15. Seleccionar l'opció "Anàlisi", "Eines", "Caixa d'eines", "3D Analyst". A la pestanya "3D Analyst", seleccionar "Ràster".

Un ràster és una estructura de dades formada per una matriu de píxels. Aquests píxels s'organitzen en columnes i files i donen lloc a una quadrícula de cel·les, les quals presenten el valor que representa la informació en qüestió. Amb un ràster, per tant, es generen imatges mitjançant una quadrícula rectangular de píxels. A cadascun dels píxels se li assigna un valor de color i una ubicació. Si voleu editar una imatge d'aquest tipus, es treballa sobre el píxel, i no sobre la forma del gràfic.

A la imatge rasteritzada se la coneix com a mapa de bits o bit map. Les fotografies i altres imatges de to continu solen ser mapes de bits, ja que aquest format possibilita la representació precisa de colors i ombres.

La qualitat d'un ràster es mesura per la profunditat de color, amplada i alçada. Aquestes característiques determinen quants colors diferents podeu desar cada píxel. És important destacar que les dades que s'emmagatzemen com a ràster permeten representar diferents fenòmens reals. Amb les dades discretes o temàtiques, es representa informació vinculada a l'ús de la terra, per exemple. Les anomenades dades contínues que, en tant, són útils per representar la temperatura, s'utilitzen per tal que el mapa quedi interpolat. Aquest procediment, donats els valors d'una funció en uns certs punts, permet calcular aproximadament els valors de la funció en punts intermedis als donats. En anàlisi numèrica, la interpolació és l'obtenció de noves dades a partir d'un nombre discret de dades originals.

En general, en la interpolació lineal s'usen les dades de dos punts,  $(x_a, y_a)$  i  $(x_b, y_b)$ , per a obtenir les d'un tercer punt interpolat  $(x, y)$  a partir de la fórmula:

$$y = y_a + (x - x_a) \frac{(y_b - y_a)}{(x_b - x_a)}$$

16. Seleccionar "Interpolació i seguidament "Spline".

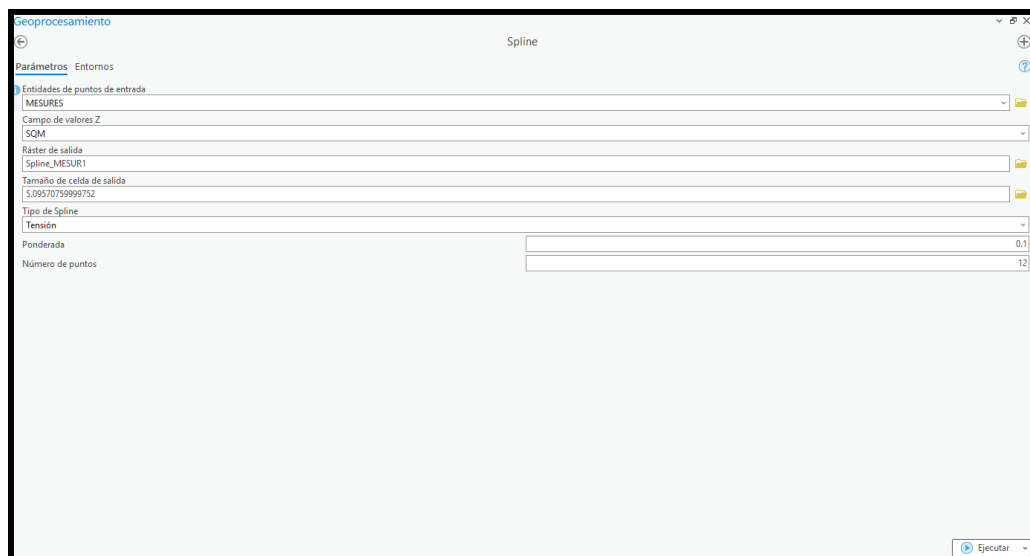
Un esquema Spline és un gràfic de línies que utilitza corbes en lloc de línies rectes. Està dissenyat per emfatitzar les tendències en les dades durant un període de temps, però de manera més fluida i gradual que un gràfic de línies. Els esquemes Spline són una forma clara i fàcil de proporcionar una representació gràfica d'una o més variables dependents del temps. Spline s'usa en gràfics que suggereixin canvis

uniformes i graduals seguint una tendència al llarg del temps, els esquemes Spline resulten perfectes. En temps real, la majoria de les accions no succeeixen immediatament i els gràfics de línia recta podrien suggerir que és així. Un esquema Spline és molt més precís en suggerir una situació fluida i natural.

En matemàtiques, un Spline és una corba formada per dues o més corbes polinòmiques que s'uneixen. Les corbes porten el nom d'un eix estriat fet servir en la construcció de vaixells, que és una tira corba de fusta que s'enganxa en una costura, sovint per reparar un taulell esquerdat.

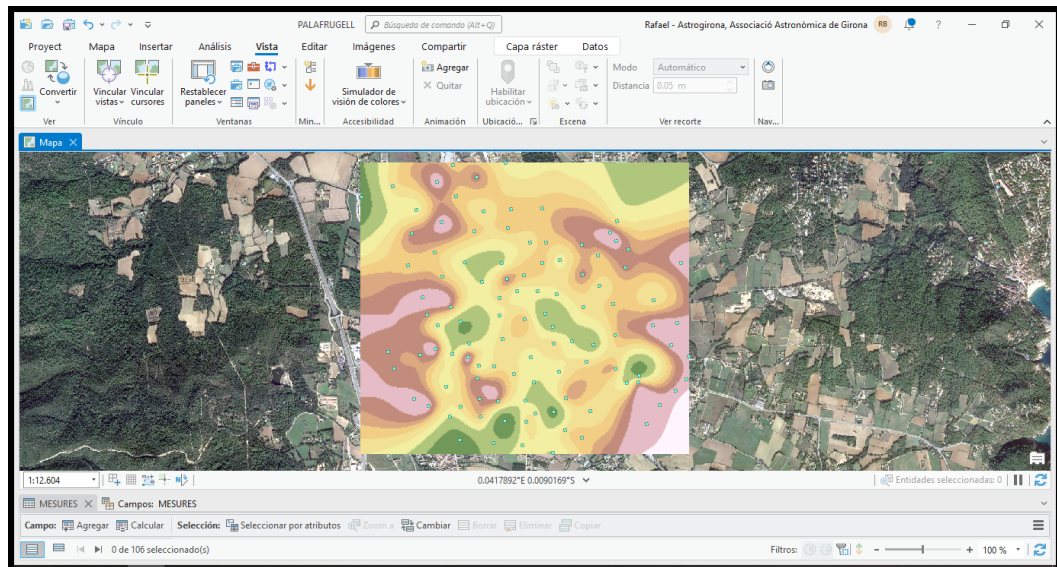
Actualment, els Splines es fan servir de múltiples maneres, especialment per a sistemes de disseny assistit per ordinador (CAD).

Gairebé qualsevol cosa que necessiti un seguiment al llarg del temps pot fer servir un esquema Spline. Es poden fer servir en gairebé qualsevol indústria: comerç minorista, ciències socials, fabricació...



Captura de pantalla, font propia

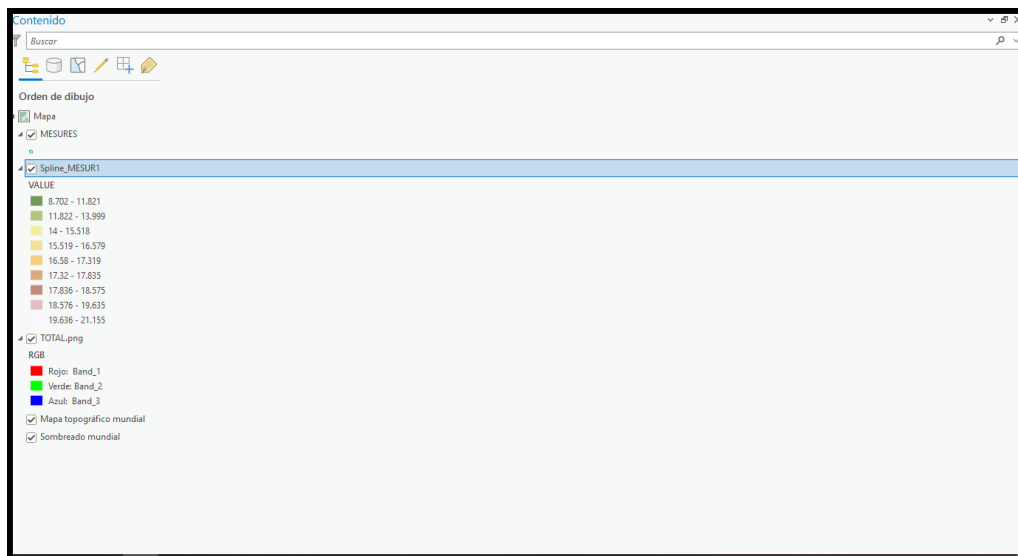
17. En aquesta pestanya, emplenar els desplegable i fer clic a executar al final. A la part "Entitats de punts d'entrada" escollir "Mesures", a "Camp de valors" posar "SQM" i a "Tipus de spline" seleccionar "Tensió".



Captura de pantalla, font propia

## Canviar els colors i la transparència

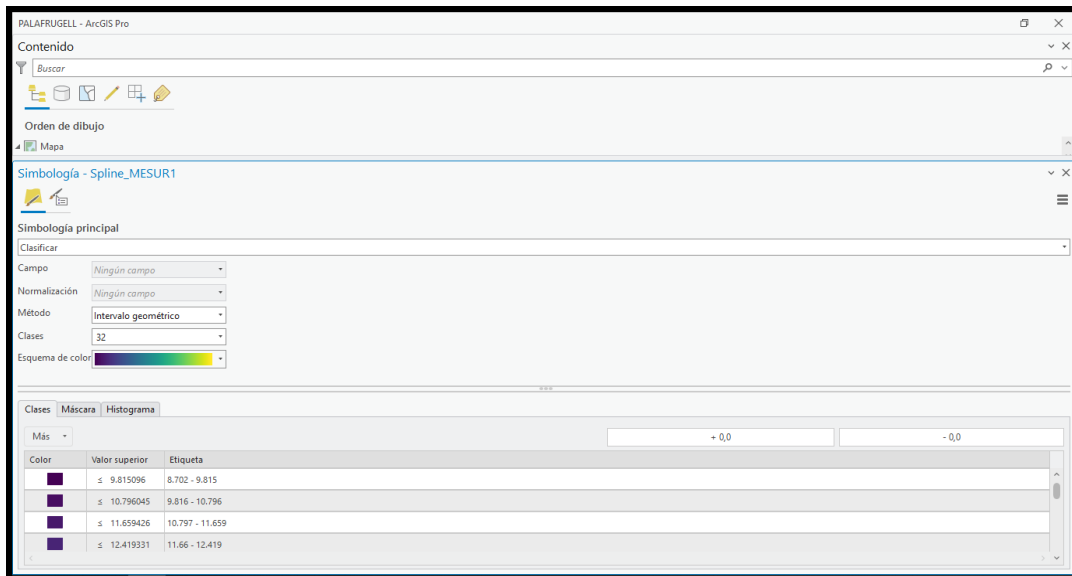
18. Seleccionar “Vista”, “Vista de contingut”, obrir “Spline” amb el clic dret i seleccionar “Simbologia”



Captura de pantalla, font propia

19. Obrir el desplegable “Classes” i determinar el nombre de tonalitats. Nosaltres hem escollit el màxim de tonalitats, 32.
20. Obrir el desplegable “Esquema de color” i escollir l’esquema de color que més s’ajusti. Hem escollit “Viridis”, ja que té unes tonalitats que van del color blau fosc cap al groc, que en el nostre cas representaria com la foscor i la llum artificial.

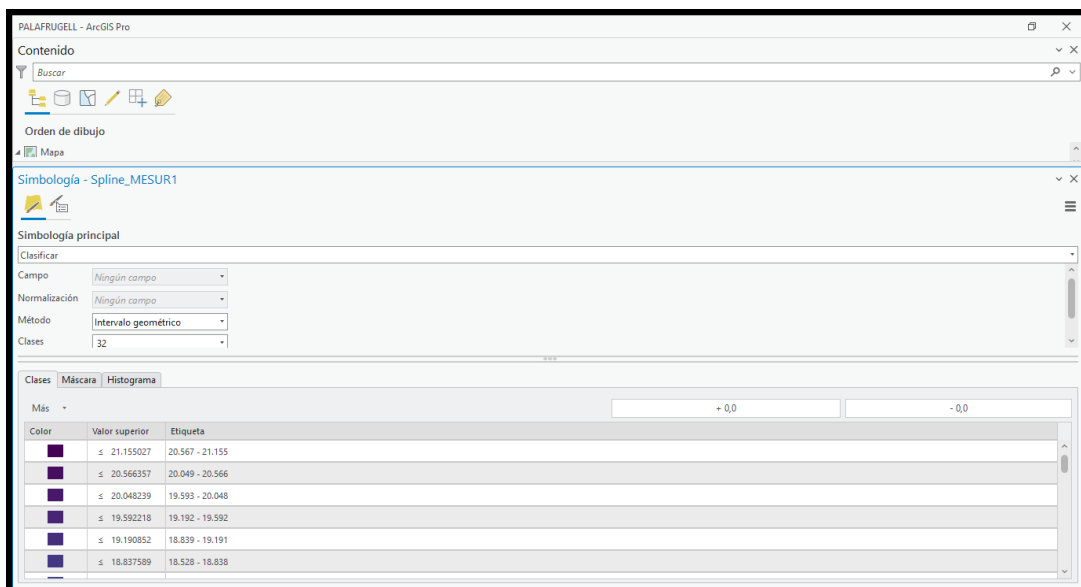




Captura de pantalla, font pròpia

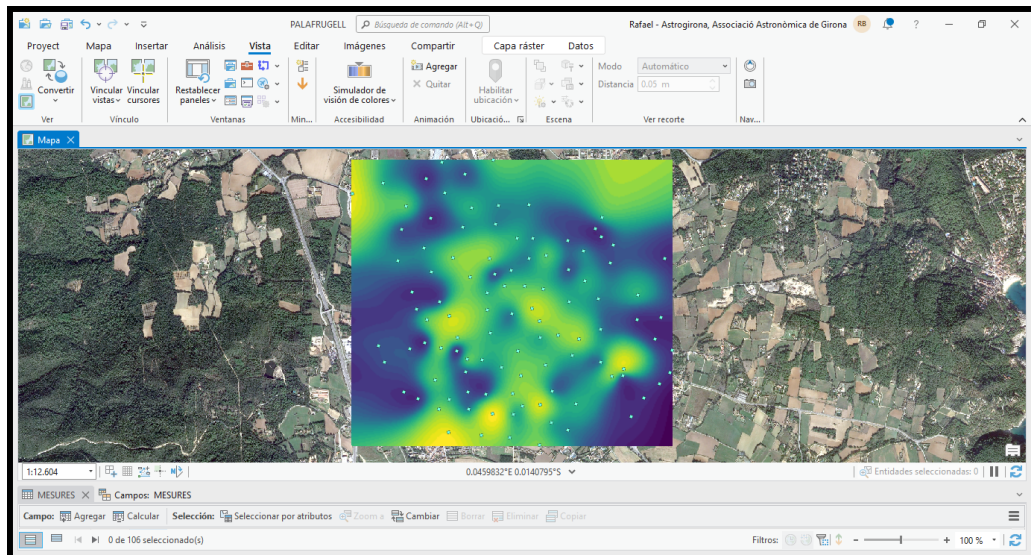
## 21. Seleccionar “Més” i “Invertir valores”.

La finalitat d'aquest pas és assignar els valors més baixos a les tonalitats més grogues i els valors més alts a les més blaves, ja que per defecte surt invertit.



Captura de pantalla, font pròpia

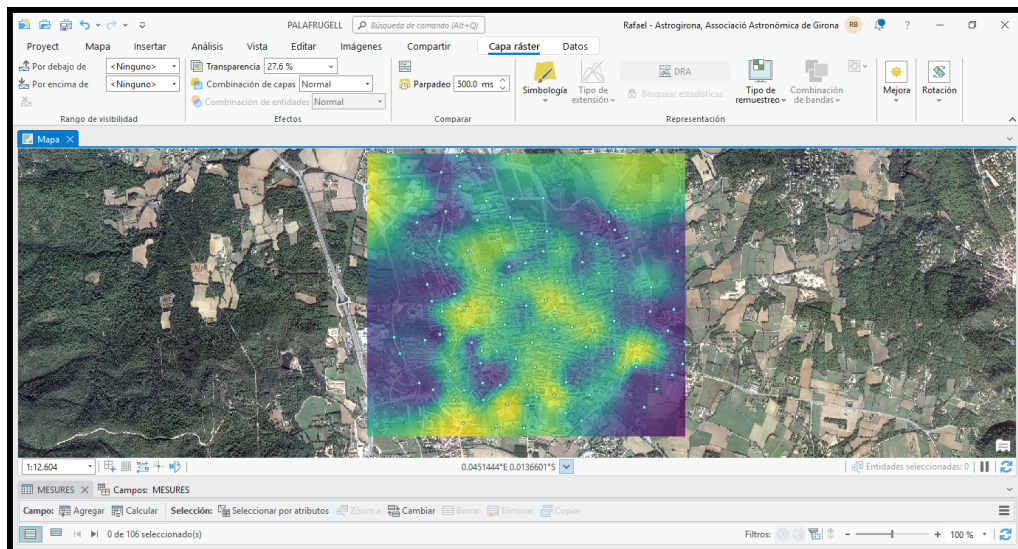
Resultat del mapa:



Captura de pantalla, font propia

22. Obrir “Capa ràster”, fer clic a “Transparència” i seleccionar el percentatge de transparència adequat.

Nosaltres hem optat per un 27,7% de transparència.



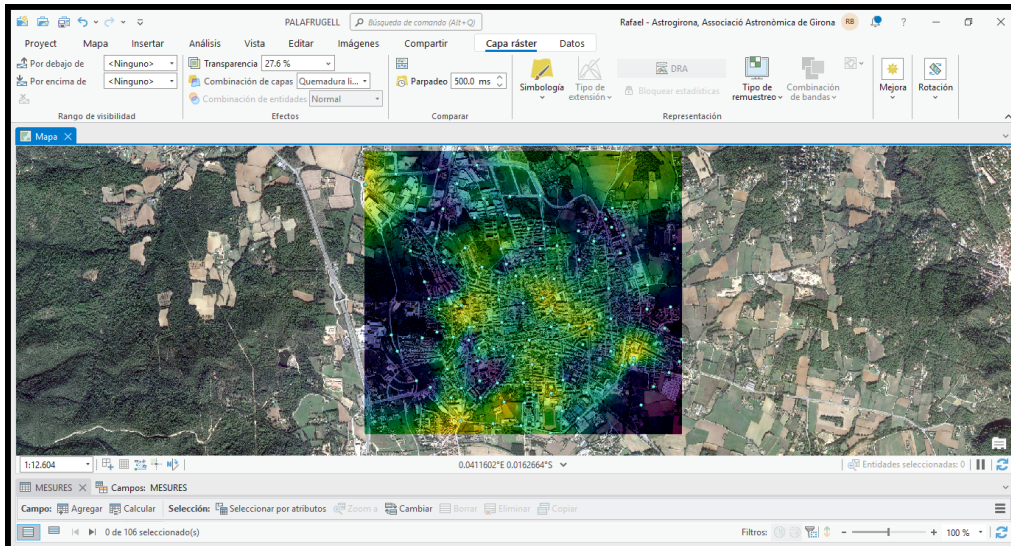
Captura de pantalla, font propia

### Altres opcions de visualització

23. Entrar a “Combinació de capes” i escollir les més convenients.

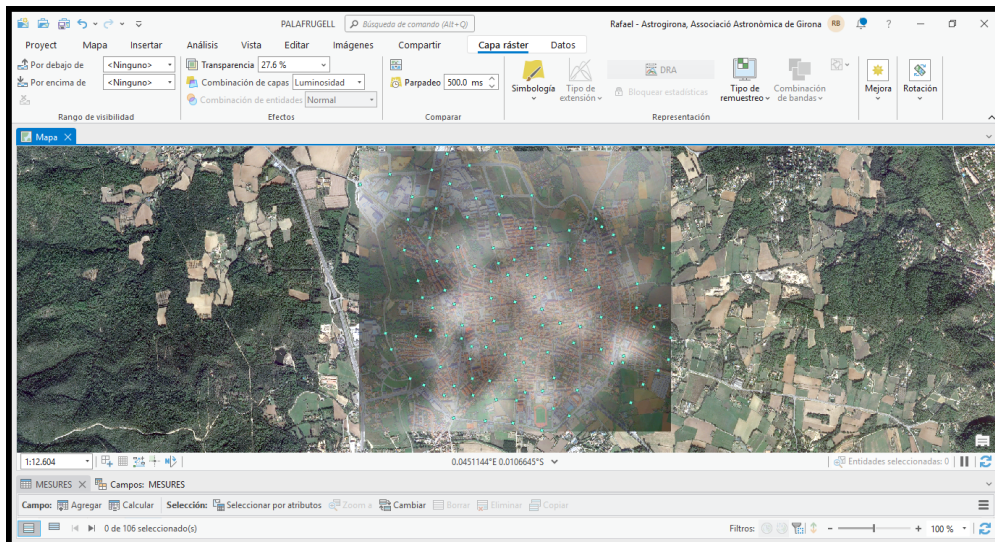
Nosaltres hem escollit tres opcions de visualització més:

- “Cremada lineal”



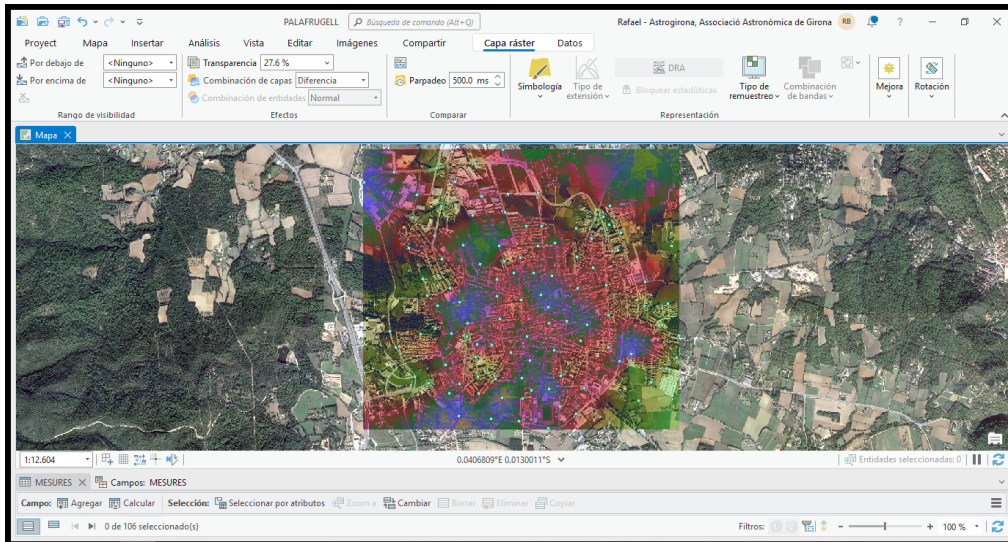
Captura de pantalla, font propia

- Luminositat



Captura de pantalla, font propia

- Diferència



Captura de pantalla, font propia

## Afegir llegenda i direcció del nord

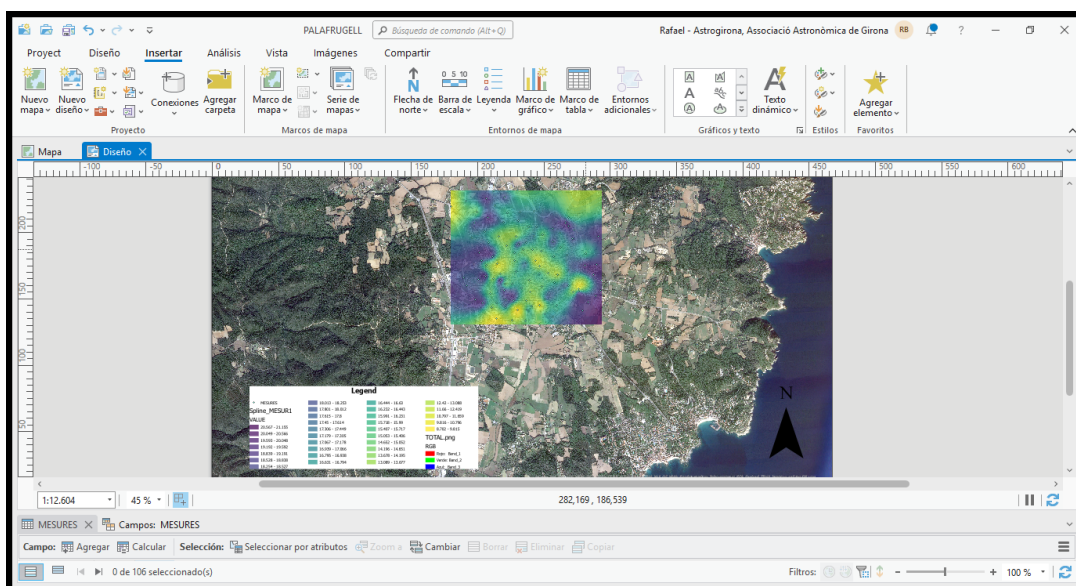
24. Seleccionar “Insertar”, fer clic a “Nou disseny” i “Seleccionar format de sortida”. Després obrir “Marco de mapa” i seleccionar el mapa.

En el nostre cas, el format de sortida és DIN A3.

25. Obrir l’opció “Flecha de norte” i triar-ne una.

26. Obrir l’opció “Llegenda”, “Fons” i triar el color del fons.

La llegenda es pot moure al lloc més convenient.



Captura de pantalla, font propia

## Exportació

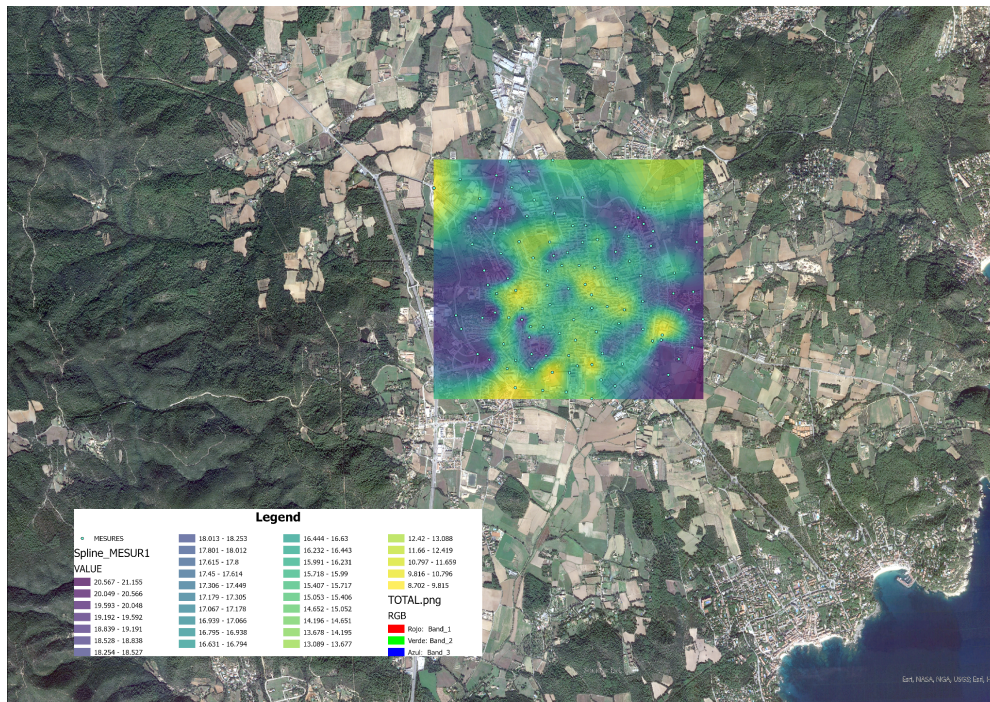
27. Fer clic a “Compartir”, seleccionar “Exportar disseny” i escollir el format.

Nosaltres escollim el format “PNG”

28. Escollir a quina carpeta descarregar el fitxer i escollir la resolució d’aquest.

Hem optat per una resolució de 400 DPI.

## 29. Fer clic a "Exportar"



Resultat final de la prova, font propia.

## 4.3 Espectres de les làmpades

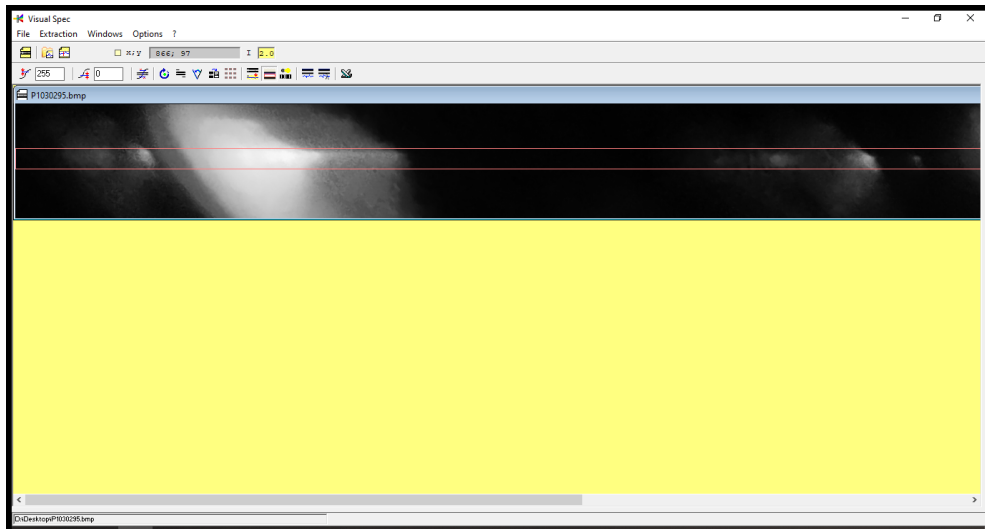
Amb l'objectiu d'aconseguir més informació, hem obtingut els espectres de les làmpades presents a l'enllumenat de Palafrugell. Per fer-ho, hem utilitzat Visual Spec, un programa gratuït que genera un gràfic i extreu les dades numèriques a partir d'una fotografia d'una llum difractada. També és el software més utilitzat per a l'anàlisi d'espectres.

Per començar, hem fotografiat les làmpades que ens interessa mesurar utilitzant una càmera amb una xarxa de difracció, que és un component òptic que difracta la llum en diversos feixos que viatgen en diferents direccions. Es col·loca la xarxa sobre l'objectiu de la càmera, i aquesta descompon la llum en una manifestació energètica de longitud d'ona d'entre 400 i 700 nanòmetres o 4000 i 7000 àngstroms. Hem fotografiat les làmpades més d'una vegada per llavors seleccionar la foto en què es veu millor l'espectre. Un cop realitzada la selecció, hem editat la foto de manera que quedi la part de l'espectre de color vermell a la dreta i la de color blau a l'esquerra. Finalment, hem retallat l'espectre, deixant les parts on es veuen més colors, i l'hem

guardat en format BMP. Seguidament hem continuat el procés amb el programa gratuït Visual Spec.

### Creació dels gràfics amb Visual Spec

1. Un cop obert el programa, obrir la pestanya "Arxiu" i fer clic a l'opció "Obrir Imatge". Seguidament, marcar la part real de l'espectre, que ja s'havia editat anteriorment, on hi hagi més gamma de colors.

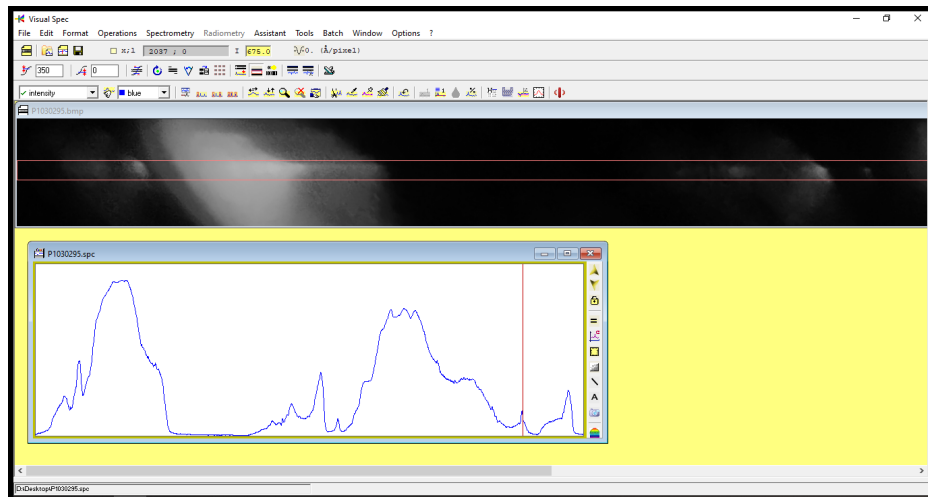


Captura de pantalla, font propia

2. Obrir el desplegable "Mesurar Gradients" i seleccionar "Object Benning" i seguidament.

El programa crea un gràfic on l'eix x és l'amplitud d'ona, en àngstroms, i l'eix y és l'intensitat per píxel.

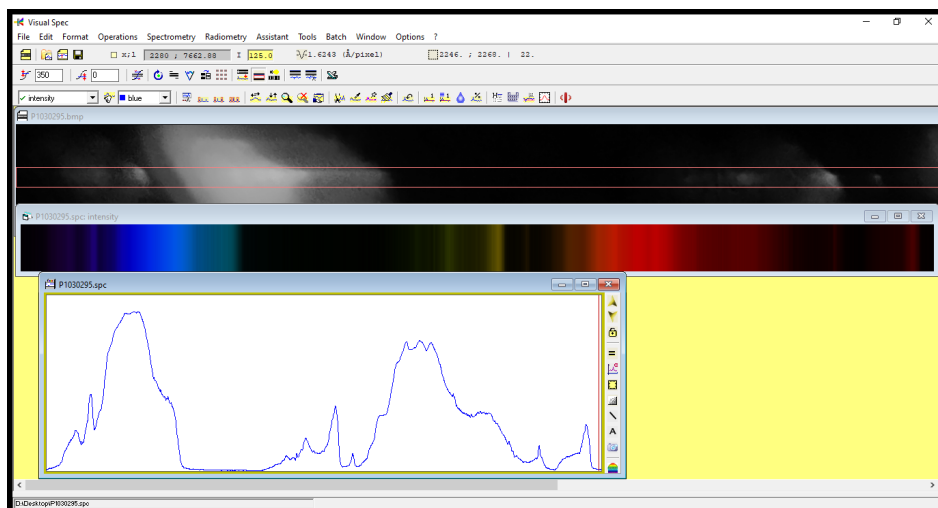
3. Fer clic a "Calibració" i calibrar l'eix x de manera que quedin 4000 àngstroms a l'esquerra del gràfic i 7000 a la part de la dreta.



Captura de pantalla, font propia

- Obrir la pestanya "Tools syntresis". En obrir-la, apareix un degradat en blanc i negre. Fer clic dret al desplegable i seleccionar "Acolorir".

D'aquesta forma el degradat passa a ser a color



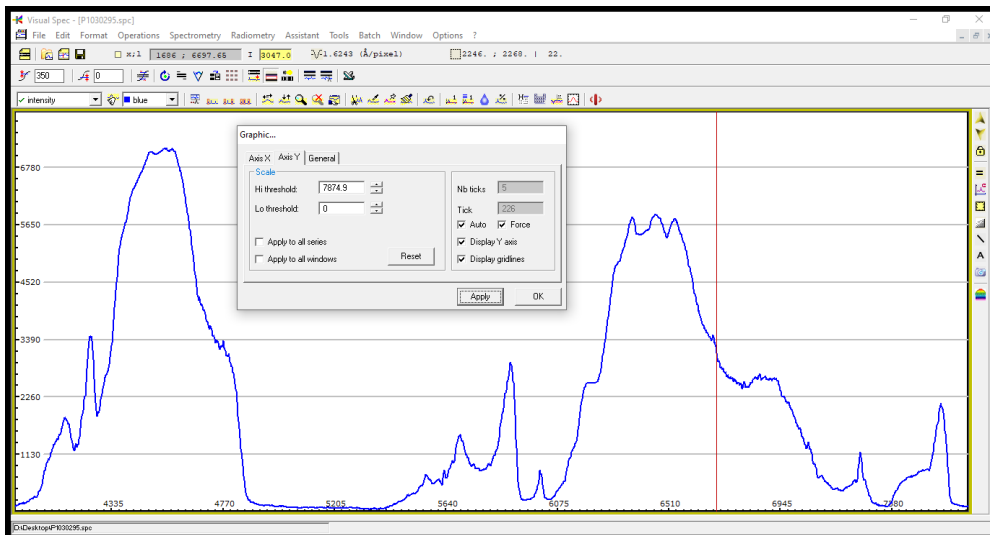
Captura de pantalla, font propia

- Obrir el desplegable "Format" i seleccionar "Línia". Allà, modificar el gruix de la línia del gràfic.

Nosaltres hem escollit el gruix 2, un gruix més ample, perquè es vegi d'una forma més clara i entenedora.

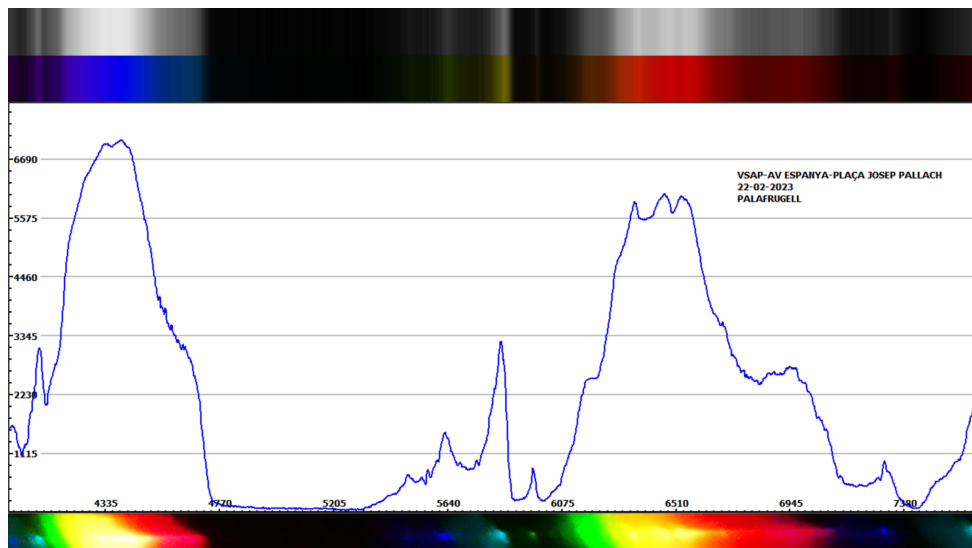
- Repetir el procés i assignar la magnitud de longitud d'ona a l'eix horitzontal i la intensitat per píxel a l'eix vertical.

Hi ha altres opcions com canviar la tipografia de lletra, posar un títol...



Captura de pantalla, font propia

7. Fer clic a l'opció amb l'ícona de càmera que hi ha situat a la dreta de la pantalla per fer una captura de pantalla.



Captura de pantalla, font propia

8. Descarregar les dades numèriques seleccionant l'opció "Fail" i exportar en format TXT.

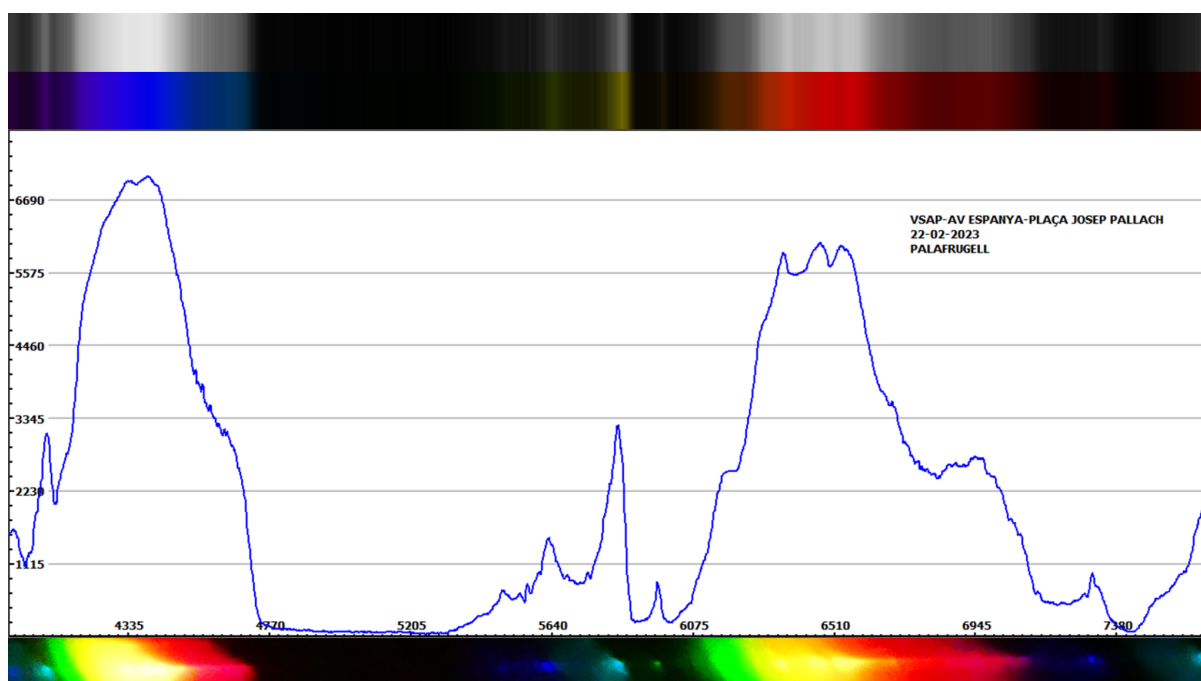
D'aquesta manera hem creat el gràfic dels espectres de llum de forma visual i numèrica.



## 5. Resultats de l'estudi

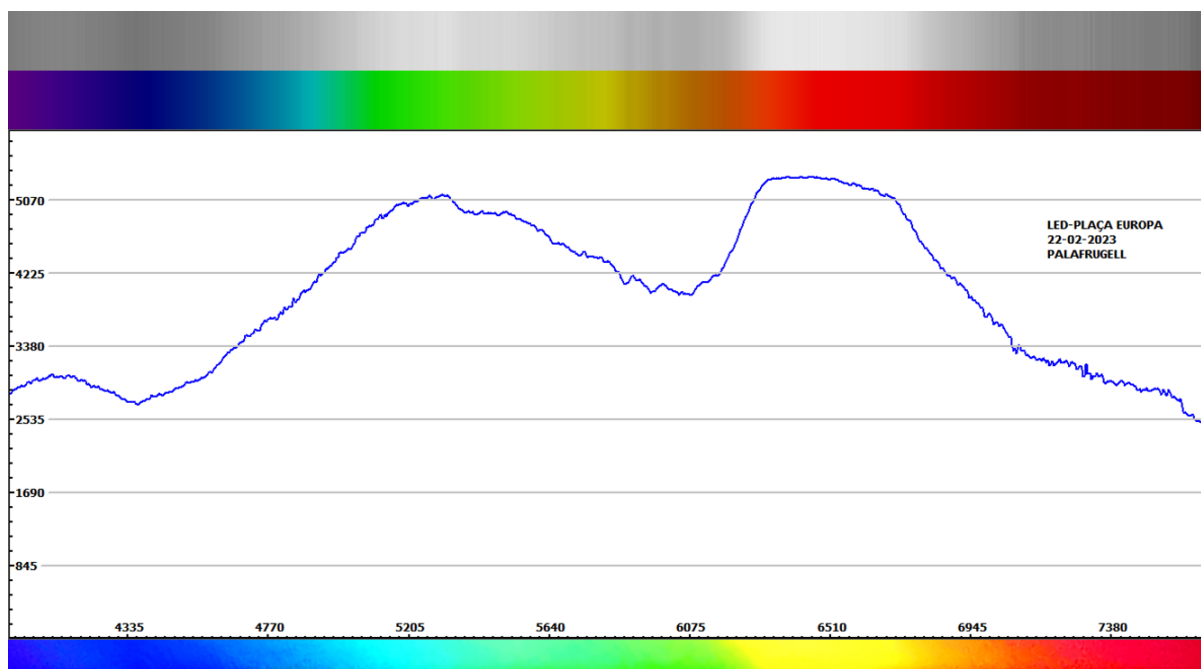
### 5.1. Resultats de l'espectrometria

Hi ha tres principis bàsics per interpretar els gràfics. El primer és que com més alta és la intensitat per píxel (l'eix de les ordenades), més alta és la contaminació lumínica que genera la làmpada i viceversa. Les longituds d'ona curtes, que reproduïxen els colors més freds, contaminen més i les longituds d'ona llargues, que reproduïxen els colors més càlids, contaminen menys. Per tant, el segon principi és que, en el gràfic, la intensitat hauria de ser major en els colors més freds i menor en els colors més càlids. El tercer principi és que com més alta es manté la intensitat per píxel, més contaminant és la làmpada, perquè això vol dir que la intensitat és alta per més amplades d'ona. En canvi, les oscil·lacions indiquen que la làmpada és menys contaminant.

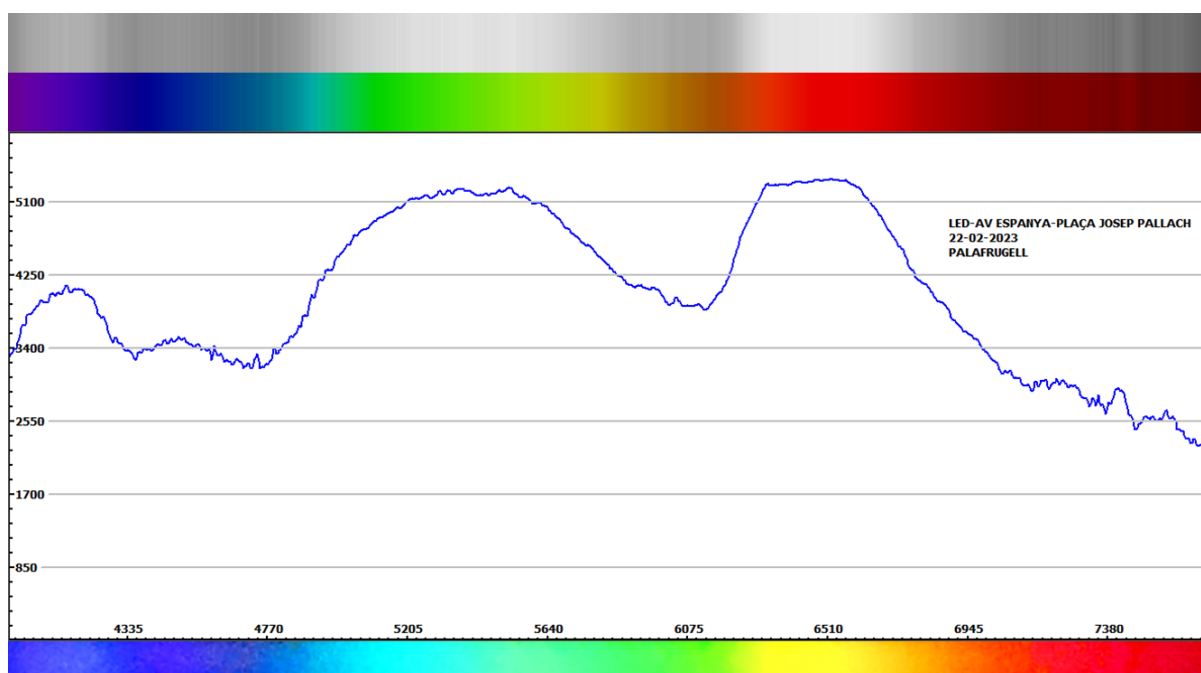


Resultat de l'espectrometria d'una làmpada de vapor de sodi, font pròpia.

Aquest gràfic representa l'espectre d'una bombeta de vapor de sodi d'alta pressió de l'avinguda Espanya. La intensitat té oscil·lacions i tendeix a baixar en els colors més càlids i a pujar en els més freds. Hi ha diversos intervals on la intensitat es manté inferior a 3345. De fet, hi ha intervals on aquesta està al voltant de zero. Un d'aquests és l'interval de 4770 a 5205 àngstroms. Aquestes oscil·lacions provoquen que sigui poc contaminant.

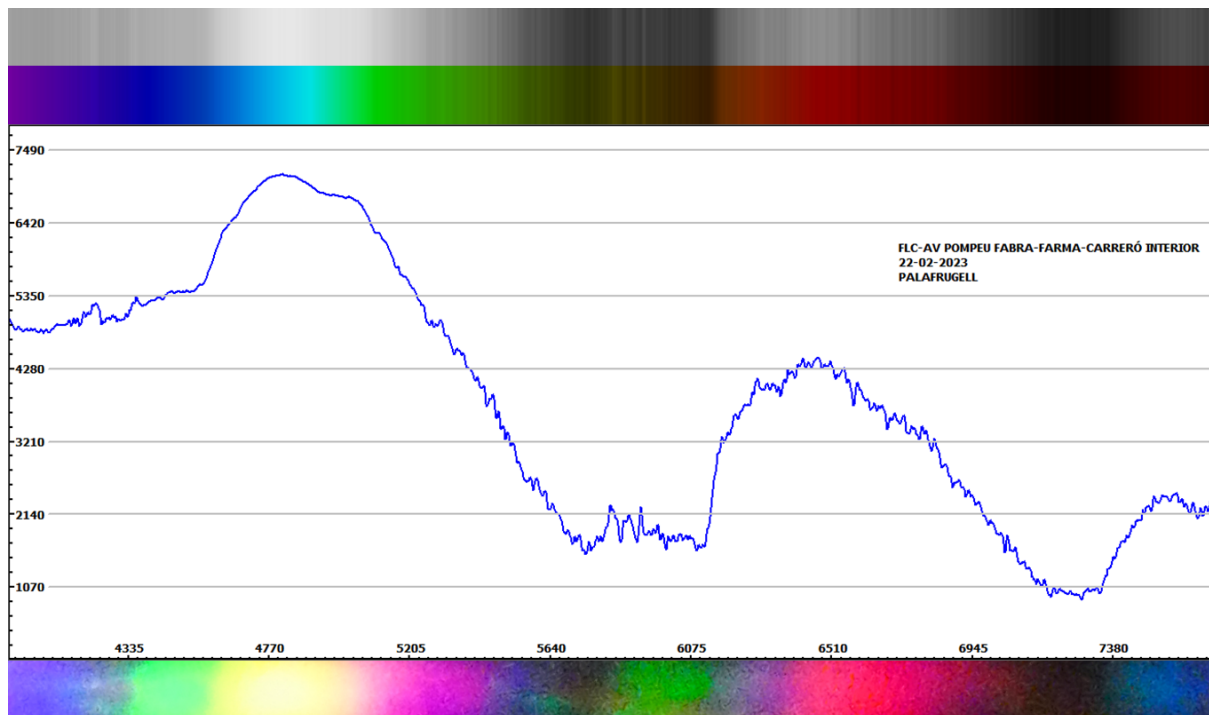


Resultat de l'espectrometria d'una làmpada LED, font propia.



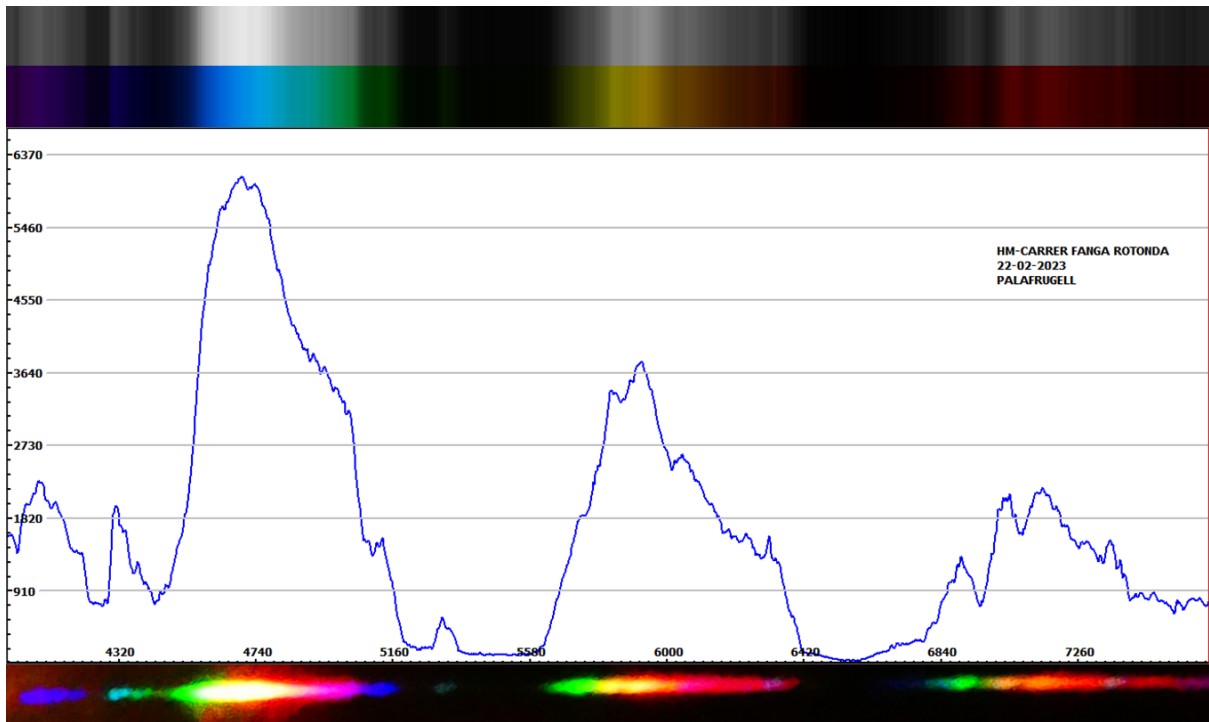
Resultat de l'espectrometria d'una làmpada LED, font propia.

Els dos anteriors espectres són de làmpades LED. La intensitat en aquests gràfics es manté majoritàriament per sobre de 3400. Les oscil·lacions són menys pronunciades i no provoquen que la intensitat baixi en gran quantitat. Es pot observar que en els colors càlids la intensitat és més baixa, com ja és d'esperar. En conjunt, aquests LEDs són bastant contaminants.

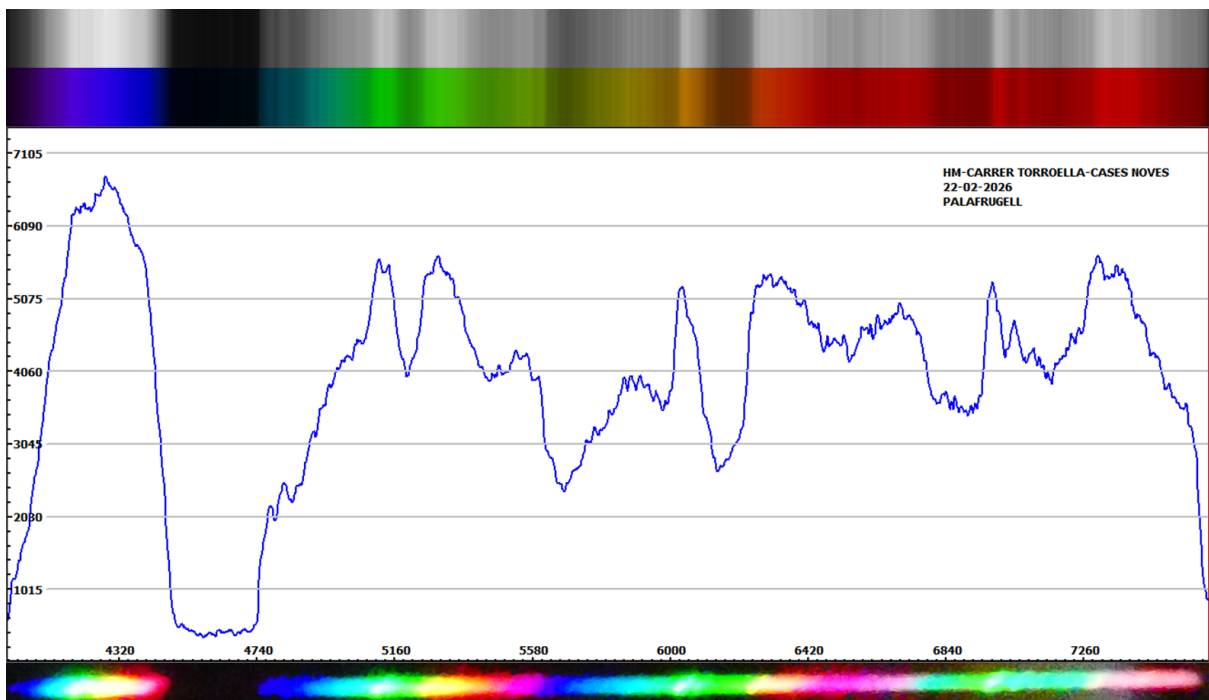


Resultat de l'espectrometria d'una làmpada fluorescent compacta, font propia.

Aquest espectre correspon a la làmpada fluorescent compacta. Les seves oscil·lacions són majors que les dels LEDs, però menors que les de la làmpada de vapor de sodi d'alta pressió. No obstant això, la intensitat és molt més alta que la dels LEDs, sobretot en les amplades d'ona curtes. Per tant, a pesar de tenir oscil·lacions més pronunciades arriba a intensitats més elevades, fent que s'acosti bastant als LEDs. En definitiva, són més contaminants que les de vapor de sodi d'alta pressió però una mica menys contaminants que els LEDs.



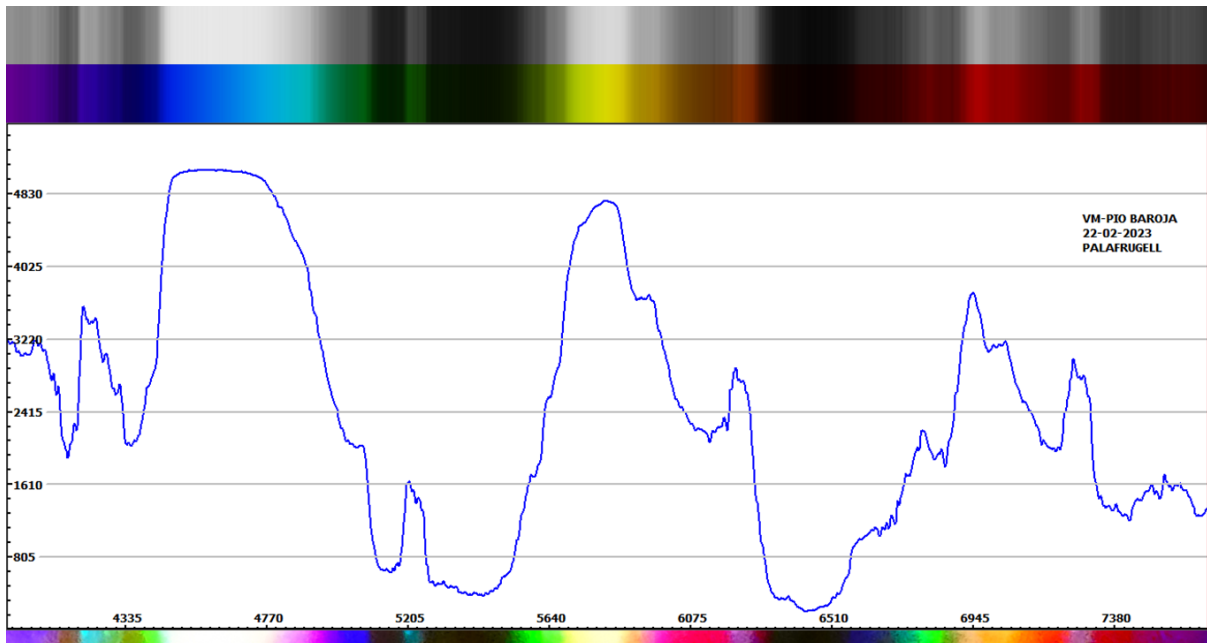
Resultat de l'espectrometria d'una làmpada d'halogenurs metàl·lics, font propia.



Resultat de l'espectrometria d'una làmpada d'halogenurs metàl·lics, font propia.

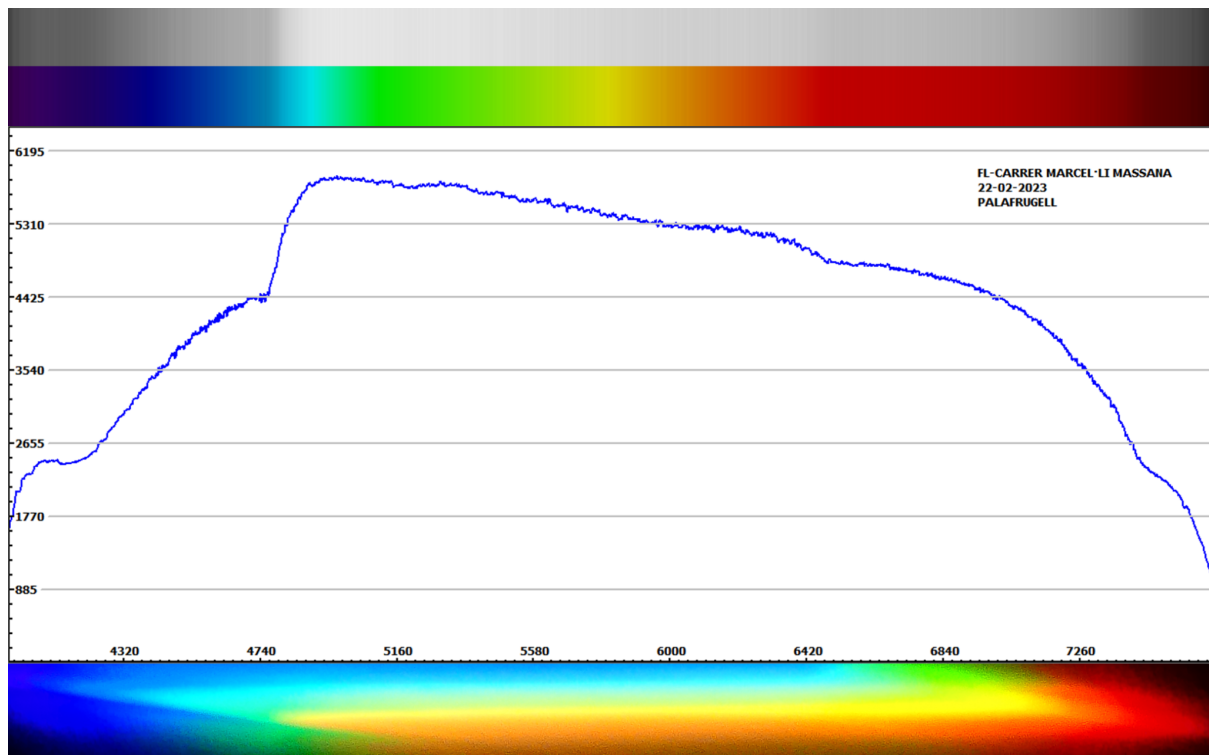
El resultat de l'espectrometria de les làmpades d'halogenurs metàl·lics varia. Aquest comportament és possible degut a que són làmpades de diferents zones i les làmpades d'halogenurs metàl·lics tenen una gran varietat en quant a generar contaminació. El primer és bastant semblant al de la làmpada de vapor de sodi, on

es poden observar grans oscil·lacions on la intensitat gairebé arriba a 0 en alguns punts. Aquesta làmpada és poc contaminant. En canvi, el segon gràfic presenta una gran oscil·lació al principi però després la intensitat es manté alta, per sobre de 3000, produint oscil·lacions de tamany més petit. Aquesta làmpada és més contaminant que la primera.



Resultat de l'espectrometria d'una làmpada de vapor de mercuri, font propia.

L'espectre de la làmpada de vapor de mercuri té moltes oscil·lacions i la intensitat no supera els 5000, havent també algunes franges on aquesta és inferior a 1610. La intensitat sempre és més baixa en els colors càlids i en cap moment es manté alta prolongadament. En conjunt, la làmpada de vapor de mercuri és poc contaminant.

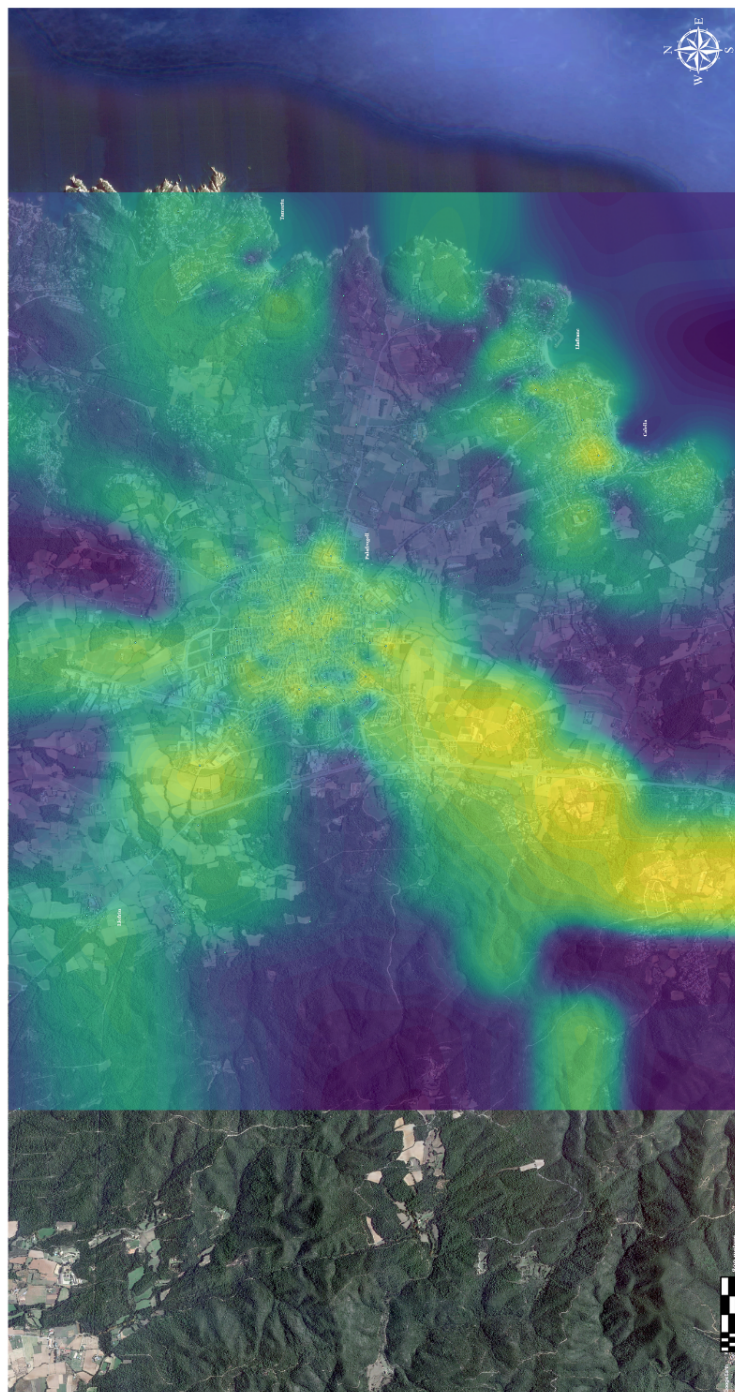


Resultat de l'espectrometria d'una làmpada fluorescent, font propia.

L'espectre de la làmpada fluorescent mostra una intensitat alta a partir de l'amplada dona de 4740 àngstroms. A més, aquesta intensitat no té cap oscil·lació, sinó que és manté alta a tot el gràfic, excepte la baixada que presenta al final. La intensitat es manté per sobre de 4400 en la majoria del gràfic. La intensitat alta i mancada d'oscil·lacions condemna a la làmpada fluorescent a ser bastant contaminant, semblant a la làmpada LED.

## 5.2. Mapes finals

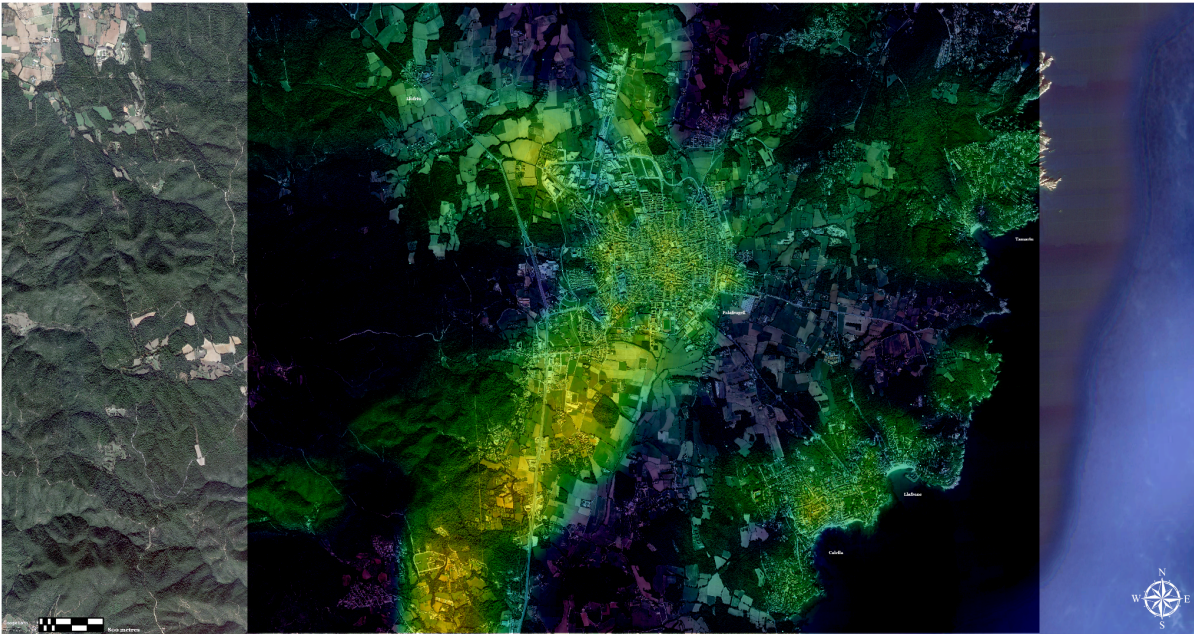
# Contaminació lumínica de Palafrugell



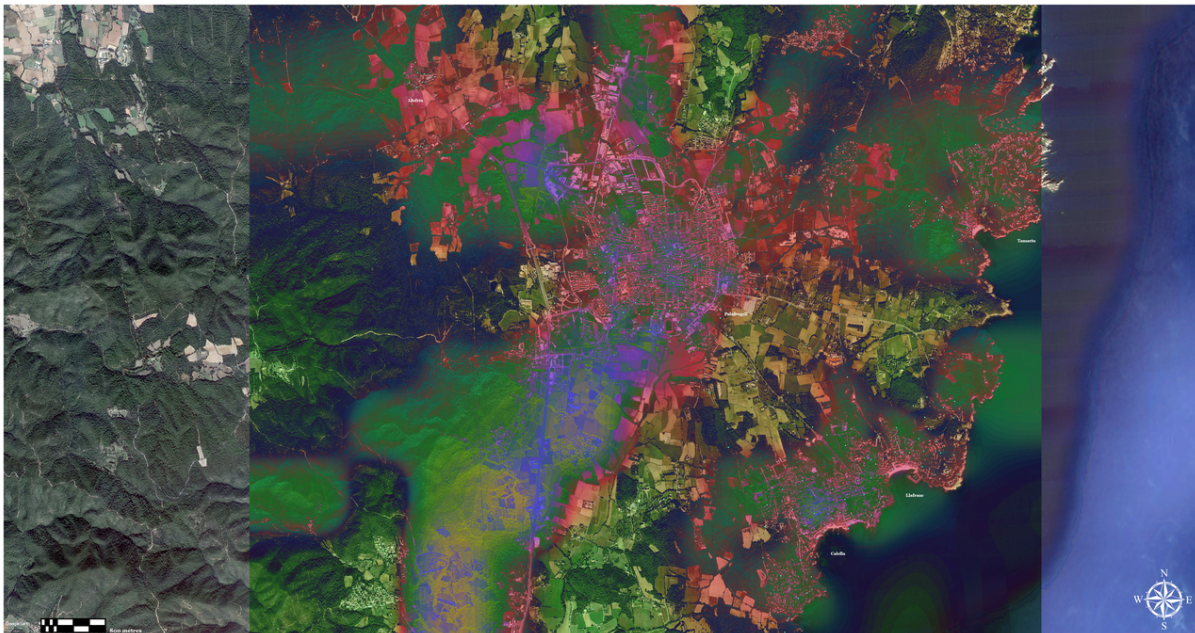
Mesures de la contaminació lumínica al terme municipal de Palafrugell  
 Valors obtinguts entre els mesos de novembre de 2022 i febrer de 2023

Mesures SQM		Gradients	
<b>Palafrugell</b>		19.539 - 19.681	18.007 - 18.358
<b>RGB</b>		19.419 - 19.538	17.586 - 18.006
Rojo: Band_1	24.069 - 25.104	19.276 - 19.418	17.081 - 17.585
Verde: Band_2	23.203 - 24.068	19.104 - 19.275	16.477 - 17.08
Azul: Band_3	22.48 - 23.202	18.899 - 19.103	15.754 - 16.476
		19.853 - 20.057	14.889 - 15.753
		19.682 - 19.852	13.853 - 14.888
			12.613 - 13.852
			11.128 - 12.612
			9.351 - 11.127
			7.223 - 9.35
			4.676 - 7.222
			1.628 - 4.675
			-2.022 - 1.627

Mapa de la contaminació lumínica a Palafrugell, elaboració pròpia.

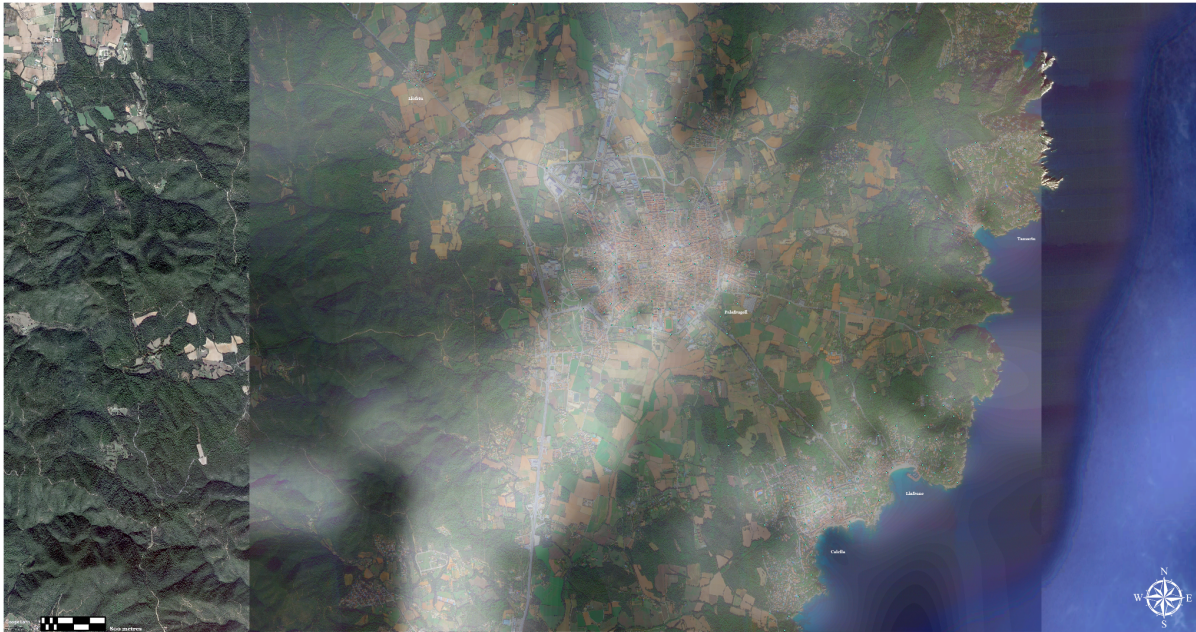


Mapa de la contaminació lumínica a Palafrugell, amb vista de "Cremada lineal", elaboració pròpia

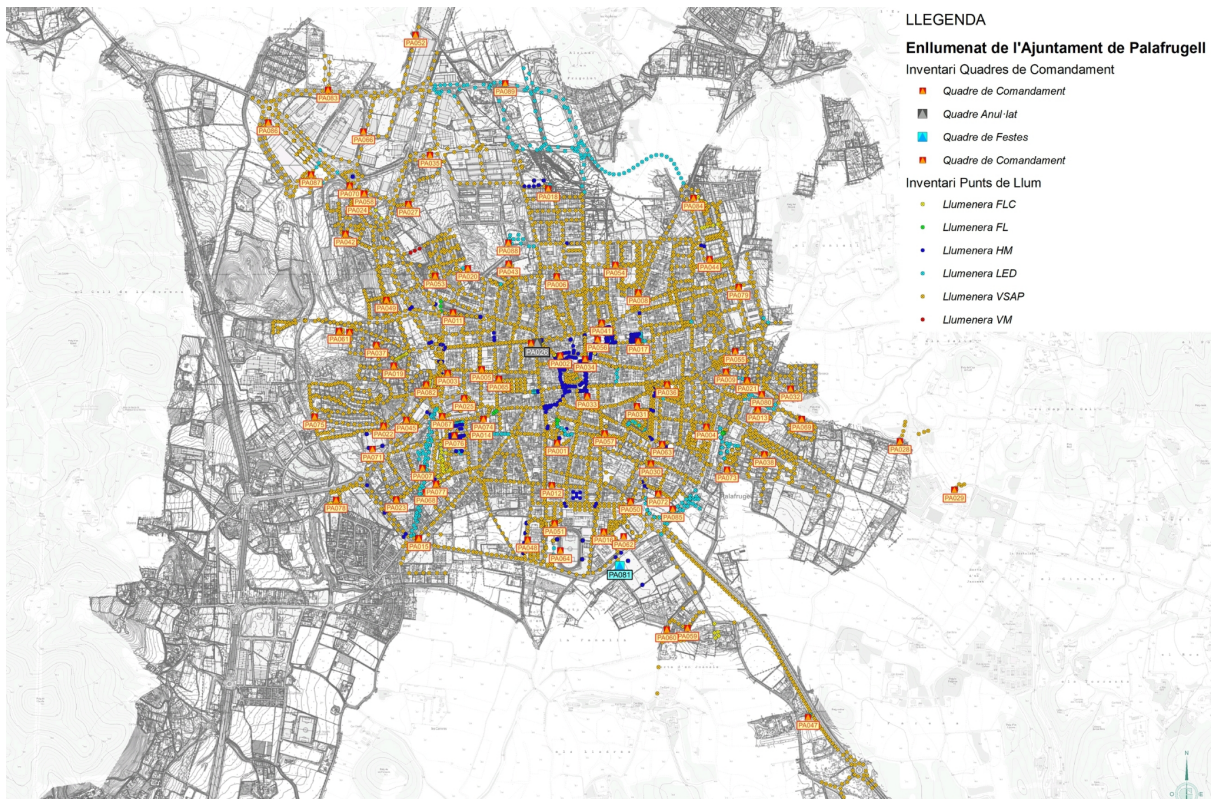


Mapa de la contaminació lumínica a Palafrugell, amb vista de "Diferència", elaboració pròpia

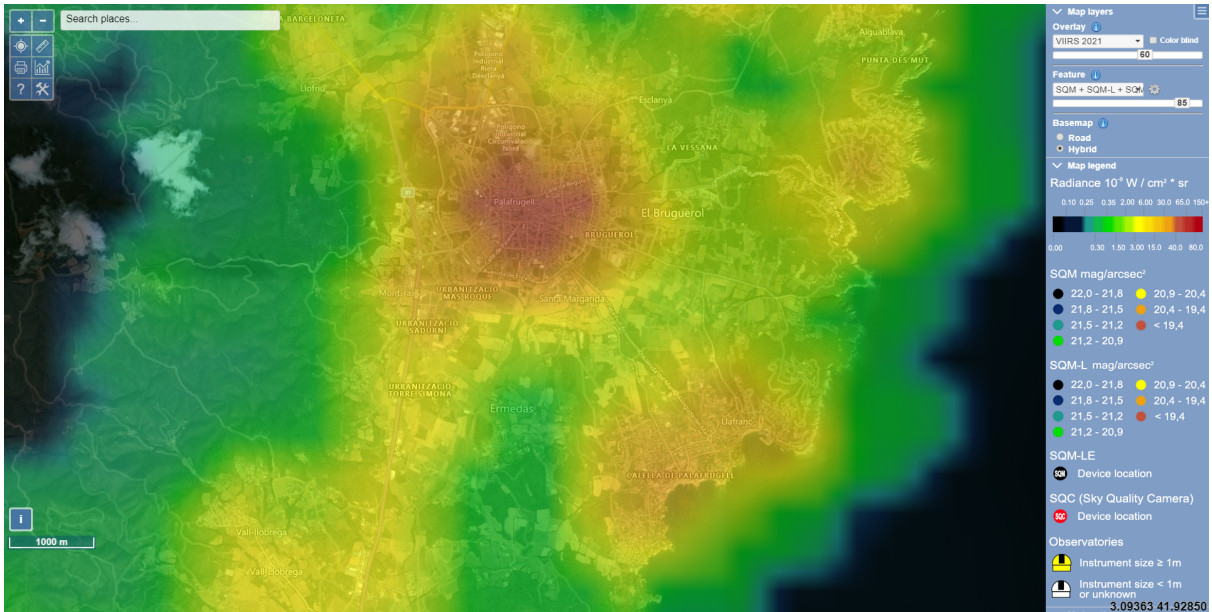




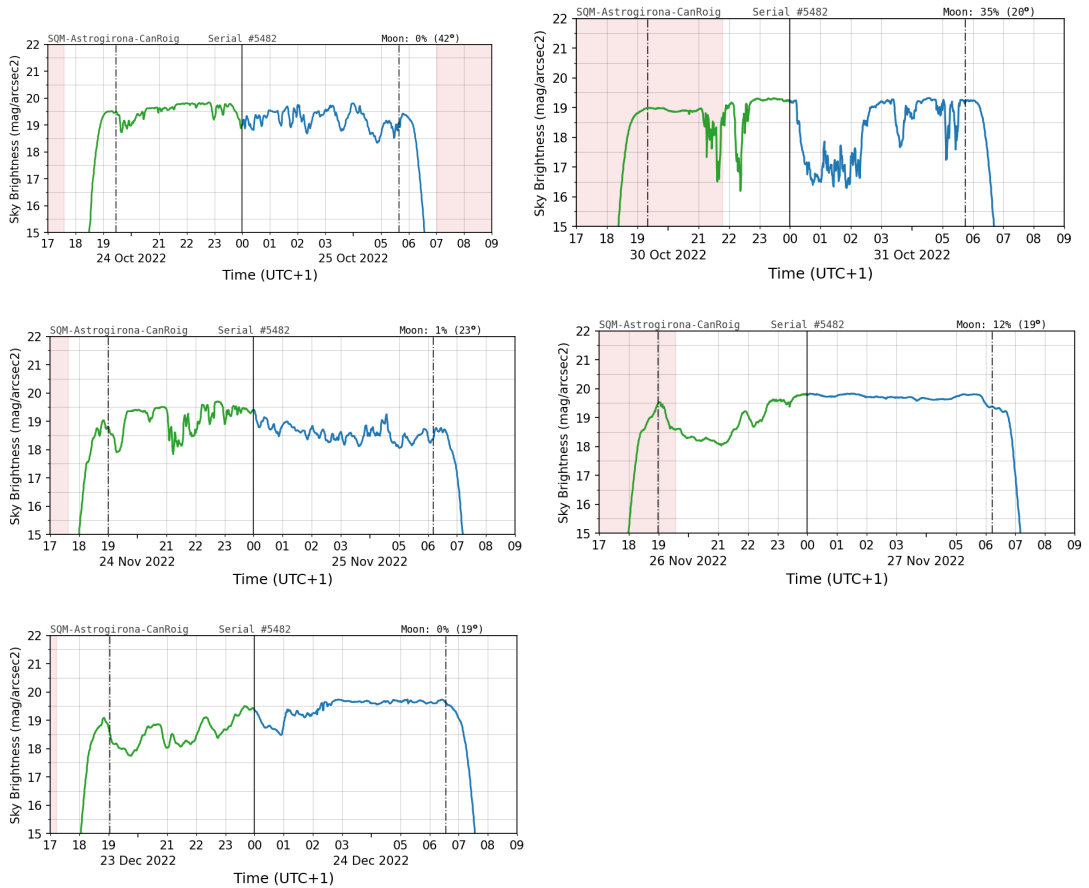
Mapa de la contaminació lumínica a Palafrugell, amb vista de "Luminositat", elaboració pròpia



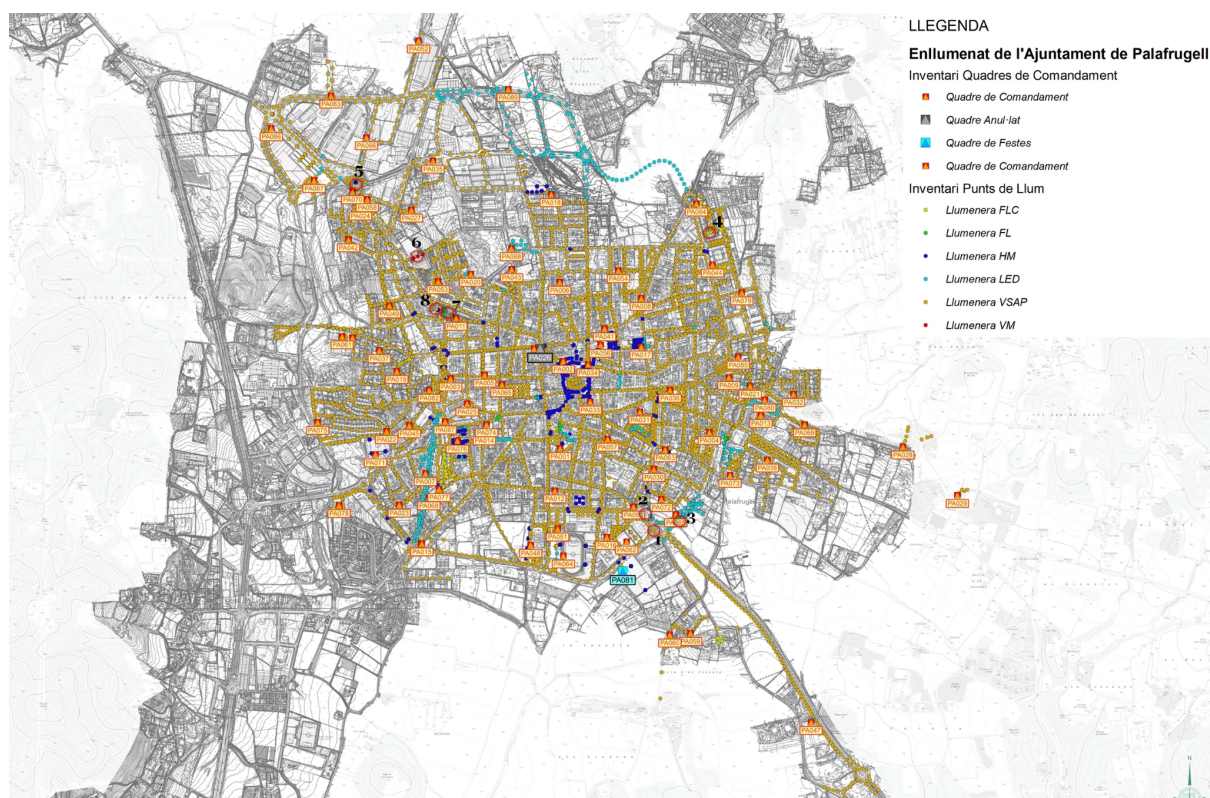
Mapa de l'enllumenat de Palafrugell cedit per l'Ajuntament de Palafrugell.



Mapa mundial de la contaminació lumínica ampliat a la zona de Palafregell, de la web de Light Pollution Map



Gràfic de les mesures de contaminació lumínica, des de l'observatori astronòmic de Ilagostera cedit per .



Mapa del lluminat de Palafrugell, font Ajuntament de Palafrugell.

### 5.3. Comparació entre el mapa d'enllumenat públic i el mapa de contaminació lumínica

El mapa mostra les zones afectades per la contaminació lumínica. En el mapa es crea una estructura radial que evidencia aquesta afirmació. Es pot observar com el centre té un color més potent i més groc, en el cas del mapa principal, deixant clar que el grau de contaminació lumínica és elevat. Passa el mateix a la perifèria, on els colors tornen a ser més intensos i groguencs. Entremig del centre i la perifèria la contaminació lumínica disminueix, ja que els colors són més verdosos i blaus. Per tant, la contaminació lumínica és superior en el centre de Palafrugell i a la perifèria, mentre que les zones que estan entremig dels dos en tenen un grau menor. Aquest comportament té una justificació, i es troba a les lluminàries. Si observem el mapa de l'enllumenat públic proporcionat per l'ajuntament, podem veure al centre de Palafrugell hi ha principal dos tipus de llumeneres, les fluorescents compactes i les d'halogenurs metàl·lics. Coincidentment, aquestes són les que tenen una temperatura de color més alta i unes de les que generen més contaminació lumínica. Això justifica la concentració de contaminació al centre de Palafrugell. Per

altra banda, la circumferència de contaminació lumínica a la rodalia conté llumenera LED, representada amb un blau cian al mapa de l'enllumenat. Una vegada més, els LED són una de les fonts de llum més contaminants. En canvi, l'espai entre franges contaminades, de color blau, és la zona del nucli de Palafrugell menys afectada. Com en els anteriors casos, el grau de contaminació concorda amb la llumenera de la zona, en aquest cas, la llumenera de vapor de sodi d'alta pressió. Com ja s'ha explicat a la part teòrica i s'ha demostrat amb l'espectrometria, aquest tipus de làmpades són poc contaminants. En el mapa destaquen alguns punts altament contaminats que es troben fora de l'estructura radial marcada pel tipus de lluminària. Aquests solen ser zones esportives, places, zones amb il·luminació excessiva o zones amb lluminàries contaminants. La carretera C-31, que connecta amb el nucli de Calella, també està altament contaminada. A pesar de no saber exactament exactament quines làmpades conté, podem suposar que són LEDs o fluorescents, les més contaminants.

Els petits nuclis de Llafranc, Calella, Tamariu i Llofriu també pateixen d'un grau considerable de contaminació lumínica al centre. No disposem del mapa d'enllumenat, però també podem veure la part central contaminada de la mateixa manera que a Palafrugell.

El nostre mapa de contaminació lumínica és molt més precís i proporciona més informació que el mapa mundial de la contaminació lumínica. Com es pot observar, el mapa mundial mostra una gran taca de contaminació a Palafrugell, donant a entendre que tot el territori té el mateix grau de contaminació i que no hi ha zones on aquesta sigui baixa. Això, en realitat, no és cert i ha quedat demostrat en el mapa d'elaboració pròpia. La falta de precisió en el mapa mundial es deu a la manca d'interval·ls en què es divideix el grau de contaminació, ja que només en té set. El grau de contaminació del nostre mapa està dividit en 32 interval·ls corresponents a 32 tonalitats de color. El fet que el mateix rang contingui més divisions fa que augmenti la precisió.

#### **5.4. Relació entre l'espectrometria i el mapa**

Els gràfics dels espectres que hem obtingut justifiquen els resultats del mapa de contaminació lumínica de Palafrugell, perquè aquests gràfics proporcionen informació sobre com de contaminants són les làmpades estudiades. Les làmpades de vapor de sodi d'alta pressió són poc contaminants i són presents a la majoria de

l'enllumenat del poble. La part nord-est del mapa de l'enllumenat mostra que hi ha lluminària de vapor de sodi sense lluminàries contaminants. Coincidentment, la tonalitat del mapa de contaminació lumínica s'atenua en aquesta part, mostrant així que les làmpades de vapor de sodi són unes de les menys contaminants. Pel que fa a les làmpades de vapor de mercuri, que l'espectrometria indica que no són molt contaminants, només són utilitzades en un carrer de Palafrugell. Justament en la zona que es troba aquest carrer la contaminació lumínica és més baixa, però no podem confirmar que sigui per l'ús d'aquestes làmpades. En el cas dels LEDs, una de les làmpades més contaminants, ja hem comentat que el seu ús augmenta la contaminació i es pot veure amb facilitat a la rodalia, per exemple. Un dels LEDs pertany a la plaça Europa, al sud-est, i es pot comprovar que aquesta zona té un grau major de contaminació. El cas de làmpades d'halogenurs metàl·lics és especial. Una d'elles pertany al Carrer de la Fanga, al nord-oest, una zona amb un grau menor de contaminació. Gràcies a l'espectrometria es pot veure que aquesta làmpada és poc contaminant. En canvi, l'altra és del Carrer de les Cases Noves, que es troba a prop del centre i està altament contaminat. Es pot veure a l'espectre que és més contaminant que la primera. L'ús de làmpades fluorescents i fluorescents compactes no és abundant, però hi ha un punt al sud-oest on es concentra la llumenera fluorescent compacta. Justament coincideix que el sud-oest del mapa és una zona molt contaminada.

## **6. Conclusions del treball**

Per elaborar aquest treball ha estat fonamental, d'una banda la part teòrica del treball, que aporta informació sobre la contaminació lumínica, i per altre banda, la part pràctica del treball en la que hem mesurat la contaminació lumínica present a Palafrugell amb l'objectiu de treure conclusions sobre els efectes de les lluminàries en la contaminació lumínica. S'ha explicat què és, els seus efectes negatius sobre els éssers vius, la seva evolució i les mesures de prevenció per minimitzar-la. També hem aprofundit en els seus efectes econòmics relacionats amb les làmpades. Gràcies al treball de camp, hem representat les mesures en un mapa amb una precisió de fins a 32 tonalitats de colors, en contrast amb el mapa mundial de contaminació lumínica, que només en conté 7.

La primera conclusió que extraiem del treball és que la contaminació lumínica és un greu problema pels éssers vius. En el cas de les persones, exposar-se a llum artificial pot provocar des de problemes lleus, com l'insomni, fins a malalties greus, com el càncer. Els animals també pateixen desajustos a causa de la contaminació lumínica i a vegades es veuen forçats a canviar el comportament habitual que els permet sobreviure, ja que la capacitat de distingir el dia i la nit del seu rellotge biològic es veu alterada. La disminució de les pol·linitzacions i l'increment de les depredacions nocturnes podrien ser alguns exemples d'alteracions en els animals provocades per la contaminació lumínica. Les espècies vegetals també pateixen els efectes de la contaminació lumínica. Una de les alteracions que pateixen és en el cicle de floració, fent que perdin les fulles massa tard i que les gelades les afectin amb més intensitat.

La següent conclusió és que la contaminació lumínica és un tipus de contaminació que ha sorgit a causa del desenvolupament econòmic i el progrés com a societat. L'aparició de la contaminació lumínica a la Terra va lligada directament amb l'activitat econòmica i el progrés tecnològic de l'home. El naixement de la contaminació lumínica va tenir lloc el dia que va sorgir la necessitat d'il·luminar espais i carrers perquè la població pogués desplaçar-se i continuar treballant a l'interior de les indústries, naixent així l'enllumenat públic. A partir d'aquí el fenomen no ha fet més que empitjorar, ja sigui per la inconsciència de la població o per la creació de làmpades que afavoreixen més la contaminació lumínica, com els LEDs.

La tercera conclusió és que la situació actual de la contaminació lumínica no és sostenible i la actuació per frenar el problema ha d'ocórrer el més aviat possible. A diferència del passat, ara coneixem els efectes de la contaminació lumínica i, per tant, hauríem de fer un ús adequat i responsable de l'enllumenat, utilitzant les làmpades menys contaminants. Espanya va ser un dels primers llocs on va aparèixer l'activisme en contra de la contaminació lumínica. El senyor Horts ens ha explicat com Cel Fosc ha contribuït al llarg del temps en la lluita contra la contaminació lumínica. Per realitzar la difícil tasca de minimitzar l'impacte, han contribuït en l'aprovació d'una llei de contaminació lumínica, han intentat conscienciar la població de la gravetat del problema i han fet tot el possible per a ser escoltats. Actualment encara són actius i segueixen intentant minimitzar la contaminació lumínica.

Dels resultats dels mapes creats en el treball de camp també extraïem una conclusió. Com que hem creat un mapa amb molta més precisió que el mapa mundial, observem que a Palafrugell la contaminació lumínica no afecta d'una manera homogènia per tot el territori. Hi ha lluminàries més contaminants que d'altres. Les làmpades d'halogenurs metàl·lics (HM) i les fluorescents compactes (FLC), que es concentren al centre de Palafrugell, són responsables marcar aquesta zona en el mapa com a una zona amb un alt índex de contaminació. L'índex de contaminació de les zones perifèriques també és alt i coincideix amb les zones on s'utilitzen lluminàries LED, que justament tenen una gran capacitat contaminant. Deixant de banda el centre i la perifèria, les zones que tenen uns valors més alts de contaminació lumínica són les zones esportives, la carretera C-31, que comunica el nucli de Palafrugell amb el de Calella, i alguns edificis excessivament il·luminats. A partir de tota la informació que proporciona el mapa es pot proposar una sèrie de mesures a aplicar per minimitzar la contaminació lumínica i a quins llocs és més urgent aplicar-les. Gràcies a les mesures de l'espectrometria hem demostrat que com més intensitat té la bombeta, segons els gràfics de l'espectrometria, més contamina la zona on s'utilitza. Contràriament, com menys intensitat surt reflectida en el gràfic, menys contaminació lumínica hi ha a les zones del mapa on s'utilitzen. Per tant, els resultats de l'espectrometria de les làmpades quadren amb les tonalitats de color del mapa que representen la contaminació lumínica. Amb això hem confirmat que el tipus de lluminària té una relació directa amb la contaminació lumínica.

La conclusió final és que gràcies al treball hem pogut constatar la hipòtesi inicial. El nostre objectiu era exposar el grau de contaminació lumínica present a Palafrugell i analitzar-lo, i ha estat aconseguit. La contaminació lumínica a Palafrugell no és extremadament elevada, però, a pesar que gaudeix de zones no contaminades, hi ha espais on no és tan baixa com podria ser. Per reduir-la al nivell ideal, caldria fer ús de les mesures preventives mencionades al treball i promoure reformes a l'enllumenat actual de Palafrugell. El resultat seria un poble que, si fos representat en el mateix mapa que ha estat elaborat, estaria cobert per un color blau verdós sense cap pertorbació de color groc. En altres paraules, seria un poble on la contaminació lumínica no seria una amenaça.

## 7. Bibliografía

17977715 *Philips Lámpara sodio-bp sox 90w.* (s/f). Alealuz. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de <https://ecommerce.alealuz.com/lampara-sodio-bp-sox-90w-b14cb/>

Álvarez, J. E. (2018, septiembre 12). *¿Está la iluminación artificial nocturna detrás de la disminución de la población mundial de anfibios?* smartlighting. <https://smart-lighting.es/esta-la-iluminacion-artificial-nocturna-detras-la-disminucion-la-poblacion-mundial-anfibios/>

*Contaminación lumínica: nefasta para la biodiversidad.* (2022, mayo 26). Noticias de Ecología y Medio Ambiente. <https://www.ecoticias.com/medio-ambiente/contaminacion-luminica-nefasta-para-la-biodiversidad>

Corporativa, I. (2020, mayo 4). *La contaminación del suelo, sus efectos sobre nuestro futuro y qué podemos hacer para reducirla.* Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-suelo-causas-efectos-soluciones>

Corporativa, I. (2021, abril 22). *La contaminación del agua: cómo no poner en peligro nuestra fuente de vida.* Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua>

*Curso de iluminación.* (s/f-a). Upc.edu. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaVaporMercurioAltaPresion.php>

*Curso de iluminación.* (s/f-b). Upc.edu. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaVaporSodioAltaPresion.php>



*Curso de iluminación.* (s/f-c). Upc.edu. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaHalogenurosMetalicos.php>

*El impacto de la contaminación lumínica en la fauna y la flora de España.* (2022, enero 12). National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2022/01/el-impacto-de-la-contaminacion-luminica-en-la-fauna-y-la-flora-de-espana>

Ferrado, M. L. (2022, octubre 8). La luz artificial enloquece nuestro reloj interno. *National geographic*. [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/luz-artificial-enloquece-nuestro-reloj-interno\\_18869](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/luz-artificial-enloquece-nuestro-reloj-interno_18869)

*Fototropismo y fotoperiodicidad.* (s/f). Khan Academy. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de <https://es.khanacademy.org/science/biology/plant-biology/plant-responses-to-light-cues/a/phototropism-photoperiodism>

Guadarrama-Ortiz, P., Ramírez-Aguilar, R., Madrid-Sánchez, A., Castillo-Rangel, C., Carrasco-Alcántara, D., & Aguilar-Roblero, R. (2014). Controladores del Tiempo y el Envejecimiento: Núcleo Supraquiasmático y Glándula Pineal. *Revista Internacional de Morfología [International Journal of Morphology]*, 32(2), 409–414. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022014000200004>

*La contaminación del agua constituye una crisis mundial creciente. Esto es lo que hay que saber.* (2017, noviembre 9). National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/contaminacion-del-agua>

*La Contaminación Electromagnética: Causas, Efectos y Soluciones.* (2019, marzo 15). Carles Surià, descubre el hogar saludable. <https://www.carlessuria.com/contaminacion-electromagnetic>

*Light pollution map.* (s/f). Lightpollutionmap.Info. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de <https://www.lightpollutionmap.info/>

Wikipedia contributors. (s/f-a). *Fotodiodo.* Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Fotodiodo&oldid=147818071>

Wikipedia contributors. (s/f-b). *Lámpara de vapor de sodio.* Wikipedia, The Free Encyclopedia. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara\\_de\\_vapor\\_de\\_sodio&oldid=149203496](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara_de_vapor_de_sodio&oldid=149203496)

Wikipedia contributors. (s/f-c). *Lámpara fluorescente compacta.* Wikipedia, The Free Encyclopedia. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara\\_fluorescente\\_compacta&oldid=148338849](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara_fluorescente_compacta&oldid=148338849)

Wikipedia contributors. (s/f-d). *Lámpara halógena.* Wikipedia, The Free Encyclopedia. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara\\_hal%C3%B3gena&oldid=146224542](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara_hal%C3%B3gena&oldid=146224542)

Wikipedia contributors. (s/f-e). *Lámpara incandescente.* Wikipedia, The Free Encyclopedia. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara\\_incandescente&oldid=149988849](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara_incandescente&oldid=149988849)

Wikipedia contributors. (s/f-f). *Lámpara led.* Wikipedia, The Free Encyclopedia. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara\\_led&oldid=149244312](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%A1mpara_led&oldid=149244312)

Wikipedia contributors. (s/f-g). *Led.* Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Led&oldid=149032545>

Wikipedia contributors. (s/f-h). *Luminaria fluorescente.* Wikipedia, The Free Encyclopedia.

[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Luminaria\\_fluorescente&oldid=148979039](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Luminaria_fluorescente&oldid=148979039)

Wikipedia contributors. (s/f-i). *Melatonina*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Melatonina&oldid=149052423>

(S/f-a). Smart-lighting.es. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de <https://smart-lighting.es/contaminacion-luminica-afecta-supervivencia-recimiento-peces-payaso/>

(S/f-b). Upc.edu. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-Lampar>

(S/f-c). Ledvance.es. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de [https://www.ledvance.es/00\\_Free\\_To\\_Use/asset-13085149\\_lista\\_de\\_precios\\_ledvance\\_septiembre\\_2022.pdf](https://www.ledvance.es/00_Free_To_Use/asset-13085149_lista_de_precios_ledvance_septiembre_2022.pdf)

## 8. Annex

### 8.1. Instruccions de l'Unihedron SQM-L:



Thank you for purchasing a Sky Quality Meter (SQM) from Unihedron!

#### Features

The SQM has the following features:

- It is sensitive only to visual light (there is a near-infrared blocking filter in front of the sensor).
- The effects of temperature on the "dark frequency" of the sensor are removed.
- The effects of temperature on the microcontroller oscillator are removed.
- It is protected against accidental reversal of battery polarity.
- Each SQM is calibrated using a NIST-traceable light meter. The absolute precision of each meter is believed to be  $\pm 10\%$  ( $\pm 0.10$  mag/arcsec). The difference in zeropoint between each calibrated SQM is typically  $\pm 0.10$  mag/sq arcsec.
- The brightness of the numeric LED display has two (automatic) settings. Under dark skies, you won't have your dark adaptation ruined by use of your SQM! Under urban skies, the display will be correspondingly brighter.
- A repeating audible beep indicates

#### Troubleshooting

After I push the button, no reading is displayed.

Are you in a very dark location?

**Yes** – The Sky Quality Meter may take up to a minute to acquire a reading when the sky is very dark. If your meter is operating properly, you will here a soft beeping sound while the measurement is in progress. When complete, the sky brightness will be displayed for a fixed number of seconds.

**No** – Your 9V battery may need to be replaced.

OR

The connector to your 9V battery may be loose.

If, after you have checked for both of these possibilities and your SQM still won't display a reading under normal operating conditions, contact Unihedron for further information and a possible replacement.

I don't know how to make sure the SQM is off.

The SQM functions in such a way that it is only temporarily on and turns itself off automatically. This is a design feature to maximize battery life.

- when a measurement is in progress.
- Any kind of 9V battery is usable. The SQM contains a voltage regulator to power the sensor, microcontroller and other components.
- After reading is taken and displayed, the meter automatically turns itself off.
- The Half Width Half Maximum (HWHM) of the angular sensitivity is  $\sim 42^\circ$ .
- The unit operates from a 9V battery.
- Size: 3.8 x 2.4 x 1 in. (97 x 61 x 25mm)
- Maximum light sampling time: 80 seconds.

\*\*\*

#### Quick Start

The SQM is very simple to use. Point the SQM so that sensor/faceplate points toward the zenith. Press the red button once and release. Under urban skies, a reading will be displayed almost immediately. Under the very darkest conditions (no moon in the sky, far from civilization) the SQM may take up to a minute to complete its measurement. Please ensure that you maintain the orientation of the SQM until the reading is displayed.



The SQM's reading is indicative of the sky brightness with a cone of half-angle 40 degrees centered on the faceplate perpendicular. There must be no direct illumination of the faceplate sensor by a terrestrial light source if the reading is to be meaningful.

\*\*\*

#### Typical Readings

Magnitudes per square arcsecond is a logarithmic measurement. Therefore large changes in sky brightness correspond to relatively small numerical changes. A difference of 1 magnitude is defined to be a factor of  $(100)^{0.75}$  in received photons. Therefore a sky brightness 5.0 mag/arcsec<sup>2</sup> fainter corresponds to a reduction in photon arrival rate of a factor of 100.

The following schematic gives a rough idea of how to interpret the readings:

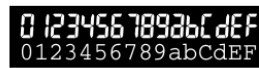


At the darkest sites, natural variations in conditions such as airglow and the brightness of the zodiacal light are limiting factors.

\*\*\*

#### Temperature, Model, Serial number

The temperature in °C then °F are displayed when you press and hold the button a second time. Also, the model and serial number are displayed if you hold the button longer. Some serial numbers include hexadecimal values:



\*\*\*

#### Care of your SQM

The SQM is a fairly simple and robust device. Avoid dropping, immersing, and compressing it and it will give you years of dependable service. Keep the faceplate clean and ensure that the battery still has useful capacity. If you have left your SQM for a long period of time (i.e. years) and see a white, powdery substance around one of the battery contacts, your battery will need to be replaced and the contacts cleaned before you can expect reliable operation.

The SQM should not be negatively affected by dew during normal operation EXCEPT for the reduction in received light by the sensor. Make sure that the sensor faceplate has been wiped before making measurements.

During storage, make sure that the push-button is not being continuously pressed since the meter will draw current from the battery and drain it in that situation. The protective plastic pushbutton sleeve that was shipped with the meter can be removed during use and re-installed during storage.

\*\*\*

#### Unanswered Questions

Help us to inform you and other customers better by contacting us through unihedron.com with your unanswered questions about the SQM and measuring light pollution.

#### Further Information

Check the Unihedron.com website for updates and additional information.

#### Mailing List

Join the SQM mailing list for notifications and to share experiences with other users. Details are listed on the SQM page at unihedron.com

\*\*\*

#### Contact Information

Unihedron  
4 Lawrence Ave  
Grimsby, ON L3M 2L9  
Canada  
Tel: (905) 945-1197

\*\*\*

Unihedron supports the goals of the International Dark-Sky Association (www.ida.org). Please consider joining to help preserve the beauty of the night sky for future generations.

#### Warranty

Unihedron warrants this product 1 year.

\*\*\*

Last updated: October 10, 2021

Instruccions de l'aparell utilitzat per prendre les mesures de contaminació lumínica.

## 8.2. Entrevista a Pere Horts

El nostre treball consta d'una entrevista realitzada a Pere Horts, fundador, juntament amb altres persones, de la associació "Cel Fosc", una associació que es va crear a l'any 1996 amb la fi de combatre la contaminació lumínica.

L'entrevista tindrà dues funcions. Primer, funcionarà com a suport per ampliar la informació teòrica de la contaminació lumínica, perquè el senyor Pere Horts ha compartit molts dels seus coneixements sobre aquest tema amb nosaltres. Com a segona funció i més important, servirà per explicar les millores al país aportades per Pere Horts en relació al tema de la contaminació lumínica, així com la seva visió sobre la situació actual i respostes a certes preguntes que requerien ser respostes per algú amb el coneixement i experiència de Pere Horts. També és molt significatiu tenir el plaer d'entrevistar a una persona que ha ajudat i parlat amb diferents polítics, governs i ajuntaments.

- **Presentació de Pere Horts**

1992. La Societat Astronòmica de Figueres denuncia per primera vegada la contaminació lumínica de l'Alt Empordà.

1993. Es presenta una proposta de control als grups de l'ajuntament de Figueres.

1995. L'Ajuntament de Figueres aprova un pla director de l'enllumenat. Es duu a terme una campanya estatal amb l'IAC i Greenpeace que no té cap ressò.

1996. Es crea Cel Fosc com a col·lectiu virtual que informa i denuncia la contaminació lumínica.

1996. Es proposa als escolars de Catalunya de fer un mapa de la contaminació lumínica del territori català. Notable ressó periodístic.

Atès l'èxit assolit, es demana als grups del parlament l'elaboració d'una llei.

2001. El Parlament aprova la llei. En els anys que segueixen, altres autonomies fan el mateix: Balears, Navarra, Cantàbria, Castella i Lleó i Andalusia, sempre amb la iniciativa de gent de Cel Fosc.

2004. La Comissió Tècnica aprova un model de Reglament. Els responsables del Departament de Medi Ambient el modifiquen, enfrontant-se amb els membres de la Comissió i trencant relacions amb Cel Fosc.

Simposi Internacional de contaminació lumínica a Barcelona.

2005. Fundació de Cel Fosc. Serà una organització estatal sense ànim de lucre. Una finalitat essencial: fomentar la investigació científica del fenomen.

S'incorporen socis que són científics i es comencen a constituir els grups d'investigació que conformaran la Red Española de Estudios de la Contaminación Lumínica.

2005. Aprovació del Reglament, però incompleix els objectius de la Llei. Cel Fosc entaula un Recurs contenciós-administratiu al TSJC.

2007. El TSJC falla a favor de Cel Fosc i el Reglament queda nul de ple dret. Medi Ambient presenta Recurs de Cassació al Suprem que mai es resolrà.

Es crea la Fundació Starlight, que defensa el dret a gaudir de la contemplació de la llum de les estrelles, contra la contaminació lumínica, tot potenciant el turisme astronòmic. Cel Fosc participa en la reunió fundacional.

S'aproven la Ley de Calidad del Aire i el RD 1890/2008, que regulen la contaminació lumínica.

2010. CDC recupera el Govern de la Generalitat. Es restableix la relació amb Cel Fosc i s'inicia la redacció d'un nou Reglament.

2015. Comença l'expansió dels LED i s'aprova el nou Reglament.

2015-2022. Cel Fosc col·labora amb el pla d'aplicació del nou Reglament de la Generalitat: assegurar la protecció dels espais naturals que són zona E1, per tal d'ampliar-la als municipis de l'entorn. Tres grans espais naturals queden protegits i obtenen certificacions Starlight: Montsec, Parc d'Aigües Tortes i Parc del Montsant. Queda pendent el procés de protecció de l'Espai Natural de l'Alta Garrotxa.

La Generalitat finança la realització de mesures de brillantor del fons del cel en diverses campanyes anuals.

Els equips d'investigació de la REECL publiquen estudis que permeten comprendre la física del fenomen i el seu control, com ara el disseny i fabricació de fotòmetres per mesurar el fons del cel, connectats en xarxa. Cel Fosc finança la compra i la seva instal·lació. Diversos membres de la REECL obtenen premis internacionals pels seus treballs d'investigació: Jaime Zamorano, David Galadí i Salva Barà.

Actualitat:

S'ha normalitzat l'ús del terme "contaminació lumínica", però existeix un desconeixement molt gran entre la població sobre què és i quins són els seus efectes. No se'n parla en els mitjans, a diferència de l'acústica i la química i això propicia la ignorància de la seva gravetat.

El volum d'estudis científics existents és molt gran i creix a un ritme vertiginós. Es disposa de l'evidència necessària per a fonamentar normatives efectives de control que n'aturin el creixement. Malgrat això, no s'avança prou a nivell autonòmic, i

menys a nivell estatal, en el seu control. Les lleis existents no s'apliquen amb el rigor necessari: les denúncies per incompliment rarament prosperen i els Ajuntaments no obliguen els particulars a complir les normatives.

Al 2008 (RD 1890/2008) es va cedir la gestió del problema a Indústria. Això va afavorir els interessos del lobby de la il·luminació (ANFALUM).

L'estat mai ha assumit, fins al present, que és un problema mediambiental. Està creixent la implicació dels grups ecologistes en l'assumpció de la realitat i gravetat del problema que representa, en multiplicar-se els estudis que demostren la gran pèrdua de biodiversitat que causa. No hi ha pressió ciutadana que condicioni els polítics.

Està en la fase final d'aprovació una llei de la Comunitat Valenciana. Madrid, Castella la Manxa, Aragó, Extremadura, País Basc, Astúries i Galícia no tenen lleis de contaminació lumínica.

S'ha iniciat el procés que ha de conduir a l'elaboració d'una normativa europea. Cel Fosc i la REECL estan treballant en això.

Tenim els coneixements científics i les eines de mesura necessàries per al seu control i tenim la tecnologia de la il·luminació que permet controlar-la. Cal trobar l'estratègia necessària per fer créixer la consciència ciutadana de la gravetat del problema, a través de la divulgació, accés als mitjans, xarxes socials, sistema educatiu, etc.

#### **- A què es dedica professionalment?**

La resposta és bàsica, professionalment no em dedico a res, ja que dedicar-se professionalment alguna cosa significa tenir una feina que serveixi de mitjà de vida. Jo ja estic als voltants dels 67 anys i ja estic jubilat, de manera que la meua activitat laboral va cessar als 60 anys. Però de fet, quan treballava ho feia de professor de secundària.

#### **- Què ha estudiat per arribar fins on està?**

En els meus temps, a les universitats catalanes no es podia estudiar astrofísica, que és el fonament de la cosmologia en l'actualitat. Per això vaig veure si podia estudiar astrofísica en algun altre lloc. L'únic lloc en què es podia fer era a l'universitat de Granada, però al no tenir recursos econòmics vaig adonar-me que no tenia possibilitats de seguir aquest camí. Vaig pensar que si no podia estudiar cosmologia científica, podria estudiar la cosmologia filosòfica. Llavors em vaig matricular de filosofia, vaig fer diversos cursos de filosofia i quan els vaig acabar, vaig passar uns

quants anys guanyant-me la vida donant classes particulars. La cosa va canviar l'any 1983, quan vaig decidir, per diverses raons, fer unes oposicions per ser professor agregat de filosofia. Em vaig treure les oposicions i a partir d'aquí vaig iniciar la meua activitat docent durant 33 anys. Vaig passar per 3 instituts. Un d'ells va ser l'institut Ramon Muntaner de Figueres, on vaig passar pràcticament la totalitat de la meua activitat docent i astronòmica.

**- D'on surt la seva inquietud en relació a la contaminació lumínica?**

Jo vaig estudiar una especialitat universitària. A l'època dels setanta, si volies estudiar filosofia a la Universitat de Barcelona, havies d'estudiar Filosofia i Ciències de l'Educació. Això volia dir que jo podia estudiar el que m'interessava des de batxillerat, la cosmologia. A les dos assignatures de filosofia vaig aprendre que durant la història s'havia donat resposta a les preguntes de cosmologia. Al segle XX la resposta ja era científica, no religiosa o filosòfica. Llavors em vaig preguntar si jo també podia estudiar això de la cosmologia des del punt científic de l'assumpte.

**- Com va començar a estudiar l'impacte de la contaminació lumínica?**

Bé, jo no he estudiat l'impacte de la contaminació lumínica, això ho han fet els científics. Si m'haig de definir d'alguna manera, em defineixo com un activista conscienciat que s'ha dedicat al llarg de la vida a aprendre sobre el fenomen de la contaminació lumínica. M'he dedicat a aprendre amb una finalitat: combatre el problema, donar-lo a conèixer i dissenyar estratègies per controlar-lo. Dic controlar-lo perquè evitar la contaminació lumínica es impossible, ja que hauríem d'apagar totes les llums, i no ho farem.

**- Com va arribar a l'extrem de poder ajudar al govern fent la llei de contaminació lumínica?**

Durant aquest període de temps en què jo estava estudiant filosofia, es van començar a editar llibres a nivell de divulgació, sobre temes relacionats amb l'univers, cosa que abans no existia quan jo vaig començar la carrera. Així que després d'haver estudiat la cosmologia filosòfica, vaig retornar a la cosmologia científica, introduint-me en la lectura de totes aquestes obres. Llavors vaig descobrir l'existència de l'astrofísica, que ja existia a Espanya. Un dels llocs on s'estudiava era l'*Instituto de Astrofísica de Canarias*. En algunes revistes d'astronomia vaig descobrir que, a part de l'astronomia professional, també existia un terreny que era el de l'astronomia de l'aficionat. En aquest terreny, una persona interessada podia buscar la informació necessària per saber què s'ha de fer per poder observar a nivell



d'aficionat. És per això que em vaig fer soci de l'Associació Astronòmica de Sabadell, que és encara la més important de tot l'estat. Aquest fet em va conduir l'any 1992 a trobar un grup de persones a Figueres que també estaven interessats en l'astronomia i vam fundar l'Associació Astronòmica de Figueres. En aquest precís instant va començar la meua història relacionada amb la contaminació lumínica. Durant tots els anys anteriors, jo havia estat subscriptor de diverses revistes de divulgació astronòmica, i en elles vaig descobrir que existia un problema per l'observació astronòmica que afectava exclusivament els observatoris professionals. Aquest problema consistia en que la llum de les ciutats, sobretot la de les més grans, començava a fer que el cel perdés la foscor natural. El director d'un d'aquests observatoris astronòmics, després de jubilar-se, va creure necessari fundar una entitat que denunciés la contaminació lumínica. Així ho va fer, en aquell moment va néixer la *International Dark-Sky Association (IDA)*. El descobriment d'aquesta associació em va propiciar la possibilitat d'adquirir informació sobre aquest fenomen. Aquí va començar tot: el 1992 es creà l'Associació Astronòmica de Figueres i vam començar a buscar un lloc on poder fer les nostres observacions. Després de donar moltes voltes, vam veure que aquest lloc no existia; anéssim allà a on anéssim trobàvem una cúpula de llum, ja fos a la ciutat de Figueres o qualsevol altra. No hi havia lloc on nosaltres poguéssim observar visualment els astres (en aquelles èpoques la fotografia astronòmica estava poc desenvolupada). Aleshores, enfrontats davant d'aquest problema, vam veure que al 1992, a conseqüència de les olimpíades que es van celebrar a Barcelona, va començar a créixer la contaminació lumínica arreu de Catalunya. La principal raó era que en aquestes olimpíades es va voler mostrar al món el que podríem anomenar un model de ciutat d'aparador. Això va promoure l'ús de tot una sèrie de lluminàries altament contaminats que van fer créixer la contaminació lumínica. Aquest fet primer va succeir a Barcelona, però després es va anar copiant per altres ciutats mitjanes i després per les petites. Quan li va tocar el torn a la ciutat de Figueres de començar a implantar aquest grau d'il·luminació, nosaltres vam veure un problema. Vam pensar que si això no ho frenàvem se'ns acabaria l'observació del cel, se'ns hauria acabat l'afició. Per tant, no tindria cap sentit que continuéssim sent una associació astronòmica si no podríem observar el cel. Com que jo tenia aquest coneixement provinent de les revistes i de la IDA, amb els companys de la societat vam decidir contactar amb els líders dels partits polítics que anaven a competir a les properes eleccions municipals de l'any

1993. Vam contactar amb l'Institut d'Estudis Intern de Canàries, on hi havia una oficina de control de la contaminació lumínica, i ens van donar tota mena d'informació tècnica. Amb aquesta informació vam fer un dossier per poder presentar-lo als líders municipals, esperant que després de les eleccions poguessin fer quelcom per frenar aquest fenomen. Després de les eleccions, l'alcalde, veient que anava escàs de diners, va decidir "buscar diners a sota de les pedres". Llavors va ser quan se'n va recordar que un grupet de bojos li havia comentat que si modificaven la il·luminació de la ciutat podien estalviar molts diners. Com que no tenien gaires alternatives, van demanar a una empresa de serveis de Figueres que fes un estudi sobre aquest tema. Aquesta empresa va ser la primera en tota la península en fer un estudi sobre la contaminació lumínica, a la ciutat de Figueres, estudiant la proposta que vam fer nosaltres. El resultat va ser conclouent: si canviaven les bombetes de llum blanca per bombetes de llum ataronjada tenien un estalvi de 16 milions de pessetes anuals, sobre 60 milions que costava la il·luminació pública a Figueres. Llavors va ser quan aprovat aquest estudi i van dissenyar un pla de remodelació de la il·luminació, i això va ser pròpiament la primera petita victòria que vam aconseguir en aquell moment. A la resta de la península encara no s'havien fet canvis per combatre la contaminació lumínica. De fet, l'any 1992 vaig anar a un congrés d'astronomia d'aficionats a la illa de la Palma i vaig proposar que fessin tan sols un manifest de denúncia, que se l'emportessin a les autonomies, i que el fessin a les autoritats competents. No obstant això, ningú ho va fer; tothom deia que no hi havia solució i que no es podia fer res per evitar-ho. Després de la nostra petita victòria a Figueres, els polítics es van assabentar del que estava passant i volien obtenir més informació sobre el que havíem fet. Jo vaig començar a rebre missatges de polítics i de l'Ajuntament de Girona, que volien saber en què consistia el programa. Als polítics, el que realment els interessava era el tema de l'estalvi econòmic. Era una època en què canviar l'enllumenat proporcionava un rendiment econòmic important. Tot això va començar a estendre's: primer un ajuntament, després un altre, i fins i tot el Parlament es va assabentar que hi havia aquest programa. El cas és que l'any 1996, jo formava part d'un altre grup d'astronomia, que era un grup minoritari que ara ja no existeix des de fa molts anys, GEA (Grup d'Estudis Astronòmics). La característica d'aquest grup és que tenia telescopis i també observatoris particulars que servien per fer investigació científica. Aquests observatoris estaven dins de ciutats o pobles i els meus companys veien

com el problema creixia. Per cert, en aquella època no hi havia control als carrers, això significa que si anava creixent la contaminació lumínica el resultat era que els observatoris s'havien de tancar. Com que sabien que jo havia tingut aquest petit èxit a Figueres, em van demanar si podia fer alguna cosa al respecte. Volien realitzar una acció més general a tot Catalunya, no a nivell d'ajuntaments sinó de Govern. Llavors és quan amb dos companys més d'aquest grup vam decidir crear a Internet, que començava a existir en aquella època, una llista de correu electrònic i una pàgina web per difondre informació sobre la contaminació lumínica. Aquest grup el vam anomenar Cel Fosc. Aquests són els orígens de Cel Fosc, que vam ser durant molts anys, des de l'any 1996 fins al 2005, activistes que divulgaven l'existència del problema i buscaven estratègies per aconseguir l'aprovació de normatives que el reguessin. Vam començar per normatives de caire municipal, és a dir, a nivell d'ajuntaments. No obstant això, vèiem que això era insuficient i que sent tan pocs no podríem arribar enlloc. Vam intentar difondre el problema a la premsa sense èxit i, fins i tot, vam fer un intent de dissenyar una campanya estatal sobre la contaminació lumínica juntament amb Greenpeace i l'Institut intern de Canàries. Aquesta campanya no va tenir el més mínim ressó, de manera que semblava que allò era picar ferro fred. Llavors, com que jo treballava en el sector de l'ensenyament (també he estat professor universitari durant 2 anys a la universitat de Girona ensenyant història de la filosofia), se'm va acudir una cosa: fer un exercici de divulgació a través dels centres educatius de la comunitat. La proposta consistia en què grups d'alumnes, dirigits per professors que no necessàriament havien de tenir gaire experiència, visquessin l'experiència de mesurar el grau de contaminació lumínica en lloc allà on vivien. Era una proposta molt senzilla: amb el mapa d'una part del cel en què hi havia constel·lacions fàcilment identificables, l'alumne es centrava en les estrelles de la constel·lació i havia de comptar les estrelles que podia veure. El nombre d'estrelles visibles donava una mesura indicativa del grau de contaminació lumínica en el cel nocturn, considerant que en un cel pur es poden arribar a distingir estrelles de la sisena magnitud. Vam decidir provar-ho i per fer-ho, vaig fer arribar aquesta informació al Departament d'Ensenyament i es va articular. Efectivament, es va enviar a totes les escoles i instituts de Catalunya. El resultat va ser que vam tenir poca resposta. No obstant això, el Departament d'Ensenyament va enviar una nota informativa a les agències de premsa informant de que els estudiants de Catalunya farien un mapa de la contaminació lumínica de la comunitat. De moment

allà va quedar la cosa, no vam tenir el més mínim ressò. Però aquí ens va tocar la loteria, vam tenir un cop de sort. Resulta que els diaris tenien dificultats per omplir pàgines els diumenges, sobretot pàgines relacionades amb la cultura i la ciència. El diari *La Vanguardia* va tenir aquesta circumstància, no sabien com omplir una pàgina de l'àrea de cultura. Buscant algunes novetats per publicar-les en aquest apartat, van trobar aquest estudi de la contaminació lumínica que estaven realitzant els alumnes de Catalunya. Gràcies a això, ens vam trobar que es va escriure una pàgina sencera parlant del problema. Això ja va ser el salt total a la fama. El dilluns, els periodistes solen repassar el que han publicat el altres mitjans el diumenge. Van veure que s'havia publicat això i que no tenien ni idea de què era, però igualment s'havia publicat. El dilluns mateix ja em van començar a localitzar, contactar... i això va ser l'inici de l'adquisició d'una certa popularitat. Llavors vam aprofitar la fama per fer una proposta d'elaboració d'una llei per regular la contaminació lumínica. Per tant, vam escriure als presidents dels grups parlamentaris del Parlament de Catalunya, sol·licitant una entrevista amb els representants de totes els grups parlamentaris del parlament per informar de la proposta. Ja teníem un diputat infiltrat, que va ser el responsable que aquella entrevista es dugués a terme. Així és com vam entrar per primera vegada en el món de la política seriosament. Vam començar a aprendre com moure'ns entre polítics per aconseguir fer realitat aquelles propostes. Vam anar al Parlament, on prèviament ja s'havia aplicat una llei de mesures que tractava la il·luminació de les carreteres que es comprometia a no posar llums contaminants a les carreteres de Catalunya. Amb aquests antecedents vam exposar el problema i la necessitat de fer una llei. Com que això no suposava pagar un preu gaire gran, es varen animar a aprovar una proposició d'una llei, una petició al Govern per elaborar una llei contra la contaminació lumínica. Van passar mesos i no vam tenir cap mena de notícia, fins que al cap d'uns quants mesos vaig rebre una trucada del Departament de Medi Ambient de la Generalitat. Em van comunicar que es creava una comissió tècnica per elaborar una llei sobre la contaminació lumínica a Figueres i, com que qui havia proposat la llei era l'associació Cel Fosc, estàvem convidats a assistir-hi. Per tant, jo i dos companys més de l'associació vam ser membres d'aquesta comissió tècnica que va elaborar la proposta de llei. Després de discutir-ho i parlar-ho en el Parlament, l'any 2001 es va aprovar per unanimitat la primera de les lleis de Catalunya sobre la contaminació lumínica, que era la primera en tot l'estat. A partir d'aquí, el fet va ressonar i altres

autonomies van començar a assabentar-se i interessar-se pel que havia passat a Catalunya. Al cap de uns quants mesos ja hi havia un procés d'elaboració d'una llei a les Illes Balears, on nosaltres també hi influïem directament. També vam influir uns mesos més tard en una llei a Navarra i tot això era possible gràcies a la difusió que havíem fet a través de la pàgina web i el correu electrònic contestant preguntes, publicant informació... Havíem fet que a cadascuna de les comunitats hi hagués algú, molt poca gent, la veritat sigui dita, que estigués conscienciat i interessat per la contaminació lumínica. Aquest algú va anar a les Balears, a Navarra, a Cantàbria, a Castella i Lleó i a Andalusia. En les altres comunitats no s'han elaborat lleis, però en alguna s'ha aprovat algun reglament dins d'una altra àrea més específica. Tot això va ser l'inici d'envainada de l'activitat de Cel Fosc. Durant molt anys, hem anat fent amb molta paciència feina de formigueta. La veritat sigui dita, no és una entitat que tingui centenars de socis (en té 150), però a part d'aquests socis hi ha moltes associacions astronòmiques que s'han anat adherint, reconeguent la feina que hem anat fent al llarg d'aquests anys. La cosa va evolucionar de la següent manera: quan al 2001 es va aprovar la llei, s'havia d'elaborar un reglament de caràcter tècnic que fes possible l'aprovació de la llei. Es va crear una segona comissió per elaborar el reglament i en vam tornar a ser membres. A l'any 2004, la comissió ja havia aprovat oficialment una proposta de reglament. Fins aquí tot estava anant molt bé; ja teníem el reglament fet i ara només faltava que el govern l'aprovés. Però llavors hi va haver eleccions. El partit que havia portat tot el tema de la contaminació lumínica que era Convergència, va perdre les eleccions. Més ben dit, les va guanyar, però no per majoria absoluta. Llavors es va formar un govern tripartit format pel PSC, Esquerra Republicana i un partit que es deia Iniciativa per Catalunya Verds, que eren els ecologistes. Els tres partits es van posar d'acord per fer fora Convergència i van entrar a governar. El Departament de Medi Ambient, que gestionava el tema de la contaminació lumínica, va quedar en mans de Iniciativa per Catalunya Verds. En un principi ens vam alegrar perquè aquests que eren els ecologistes de debò, si Convergència ho havia fet bé, ells ho havien de fer millor. Doncs no, no vam tenir raó. Per què el Conseller de Medi Ambient de Iniciativa per Catalunya es pogués "penjar una medalla", aquest partit va sabotjar el reglament. Hi havia tot una gestió administrativa que s'havia de seguir i un d'aquests punts del gestió administratiu era que els membres de la comissió del govern local, en la que hi havia els representants dels alcaldes de Catalunya, havien de donar el vistiplau a

l'ajuntament. Doncs bé, el Govern tripartit no tenia diners i el conseller de finances havia dit que ningú comprometés inversions. Aleshores, vam anar en aquesta reunió i els alcaldes van dir que els semblava molt bé aquesta llei, però com que ja n'estaven tips d'haver d'executar lleis i que el Govern no els dongués diners, doncs la pregunta era que qui pagaria aquests canvis. És clar, com que no podien comprometre inversions, les dues persones que ho havien de gestionar van dir que no ens preocupéssim, ja que ells farien algunes modificacions perquè nosaltres no haguéssim d'interferir. Van fer unes modificacions tan "bones", que pràcticament van canviar tots els nombres, justament els més importants. El resultat va ser que, després que nosaltres protestéssim i els advertíssim de que anaven a provocar un desastre, igualment van aprovar un reglament que servia bàsicament per incomplir la llei. Ara bé, el seu conseller es podia penjar la medalleta conforme ells havien aprovat en qüestió de dos mesos el que Convergència no havia aconseguit abans. Aquest era el titular del dia. Davant d'això, de ser dels col·laboradors i iniciadors del procés ens vam convertir en els enemics i no van voler saber absolutament res del que nosaltres proposàvem. El que vam fer va ser redactar una denúncia (jurisdicció contencioso-administrativa) i vam anar als tribunals. Jo en vaig redactar una part, un company meu en va redactar una altra i una advocada que formava part de Cel Fosc va fer la part jurídica. El vam presentar i, dos anys després, el tribunal ens va donar la raó i van entendre de què aquell reglament, era nul de ple dret, absolutament tot. Arribats a aquest punt, el reglament va quedar en suspens, però continuava podent-se aprovar perquè van presentar un recurs al Tribunal Suprem, el de la Generalitat. Nosaltres també hi vam recórrer i mentre es resumia el recurs, que podia durar cinc anys, no estava invalidada l'apel·lació del reglament, és a dir, la podien continuar aplicant. El Govern estava pensant això, que fos el que fos el resultat del recurs ja haurien aplicat el reglament i s'haurien sortit amb la seva. Llavors és quan vam tenir un cop de sort, que de fet va ser una desgràcia pel país: va començar la crisi econòmica de la bombolla immobiliària al 2007. Amb la crisi tot es va paralitzar. Els ajuntaments no podien realitzar canvis en la il·luminació i el Govern tampoc tenia diners, de manera que tot el que vam poder fer va ser un mapa de les àrees d'afectació de la contaminació lumínica. Al 2005 va ser quan vam aprovar el reglament i vam decidir donar un pas més endavant. Ja no podríem continuar sent un col·lectiu d'Internet que denunciava i donava propostes, havíem de tenir convertir-nos en una entitat amb més caràcter jurídic. La necessitat de

presentar un recurs contenciós administratiu va ser allò que ens va portar a crear una entitat d'abast estatal sense ànim de lucre, anomenada Cel Fosc. Llavors ja teníem personalitat jurídica per poder presentar aquest recurs contenciós administratiu, i així ho vam fer. De fet, és a partir d'aquí que comença la història de Cel Fosc en la actualitat. A continuació, la bola de neu va anar creixent cada cop i més gent se'n va anar assabentant de l'existència d'un grup de persones que defensaven el dret d'observar la llum de les estrelles i coses semblants. Però així és com aquestes normatives autonòmiques que he citat abans van anar caient una darrera l'altra, i llavors és quan Cel Fosc es va convertir en una entitat estatal. També vam decidir renunciar a créixer exponencialment, ja que erem poca gent i tampoc teníem capacitat com per pretendre crear una entitat de milers de socis. El que ens interessava, concretament, era potenciar la investigació científica. Va ser precisament per això, per el fet que el estatuts constés, Un dels nostres objectius era l'estudi de la contaminació lumínica. Per això mateix, amb molta lentitud, a partir de l'any 2005 van anar entrant nous socis que eren científics, enginyers tècnics especialitzats en il·luminació, astrofísics, físics especialitzats en fotònica... Aquests últims estudiaven el comportament de la llum, és a dir, com la llum artificial es dispersa a través de l'escorça. També vam intentar, en la mesura de les nostres possibilitats, incentivar l'estudi sobre l'afectació de la contaminació lumínica a la vida natural del planeta. D'aquesta manera, científics d'una banda i activistes de l'altra vam anar creixent lentament i vam anar obtenint aquestes normatives autonòmiques. De fet, aquest és un procés que ha anat perdurant fins el present. En l'actualitat, Cel Fosc no en té molts de socis, però els que té són de qualitat, gent seriosa. Una cosa de la qual podem estar orgullosos és precisament això, que aquests científics que s'han anat incorporant al llarg dels anys han fet un treball boníssim sobre la investigació de les característiques físiques de la contaminació lumínica. Han acabat creant un grup d'investigadors anomenat *Red Española de Estudios de la Contaminación Lumínica*, que tenen la seva pàgina web a Internet amb certa informació accessible. La informació que nosaltres, Cel Fosc, hem anat creant i la que ells han anat obtenint amb les seves investigacions, així com els resultats de les investigacions i estudis que han publicat, ha fet que una bona part d'aquests investigadors sigui de talla mundial. En altres paraules, a nivell científic es pot dir que tenim la gent més preparada per entendre el fenomen de la

contaminació lumínica i fer les propostes correctes de com aquest fenomen s'ha d'aturar en l'actualitat. Aquest és el present, s'ha d'aturar el fenomen sí o sí.

**- Creu que la situació actual de la contaminació lumínica és preocupant?**

**Com creu que evolucionarà si no es posen mesures?**

Òbviament si no es posen mesures la situació evolucionarà fatal, molt malament. Els resultats del grup d'investigació que he comentat prèviament quantifica l'increment mundial de la contaminació lumínica en relació a un 2,2% anual, és a dir, un clar empitjorament del problema. Si no es fa res per frenar aquest procés, d'aquí poc no hi haurà manera de revertir-ho de cap de les maneres. És clar, aquesta dificultat de revertir-ho depèn de la següent cosa. La vida a la terra ha evolucionat de la següent manera: durant milers de milions d'anys i en les presents circumstàncies totes les espècies vives, tant animals com plantes (nosaltres inclosos), ens hem adaptat a determinats ritmes naturals que té el nostre planeta. Un d'aquests ritmes és l'alternança entre el dia i la nit. Totes les espècies estan condicionades per l'alternança de la llum del sol i la foscor i, insisteixo, les plantes incloses. En funció d'aquesta alternança tenim espècies com nosaltres, que som diürns, i hi ha espècies que tenen activitat biològica principalment durant la nit. També hi ha espècies que tenen activitat biològica que entre el dia i la nit, és a dir, les crepusculars. La preservació d'aquesta alternança i tot allò que comporta està essent alterada per nosaltres, perquè hem allargat el dia artificialment amb la invenció de la il·luminació elèctrica. De fet, és un gran invent, no ho qüestiono en absolut, però al utilitzar incorrectament la il·luminació a l'exterior estem trencant aquesta alternança sistemàtica. Allarguem el dia per poder extreure un benefici, per allargar les nostres activitats laborals i lúdiques, però no considerem la resta d'éssers vius que no viuen com nosaltres. La llum artificial que nosaltres generem altera sobretot els seus processos biològics d'alimentació i reproducció. La contaminació lumínica està ocasionant una enorme pèrdua de biodiversitat, cosa que nosaltres ja intuïem des del principi gràcies a l'exemple dels mosquits. Aquests mosquits o altres insectes nocturns se senten atrets per la llum i queden capturats per coses com una bombeta encesa, fent voltes i voltes. Després vam descobrir que aquest mateix procés també afectava a les aus. No només a les aus nocturnes, sinó a totes aquelles que, a pesar de ser actives de dia, emigren durant la nit. A partir d'aquí el desordre és enorme, no hi ha cap espècie nocturna que no quedi afectada. Òbviament també ens afecta a nosaltres. Al ser animals diürns la llum ens agrada i ens atrau, així com



ho fa amb els mosquits. Per aquest motiu, naturalment no tenim consciència que exposar-nos a la llum artificial en horari nocturn és perjudicial per a la salut.

En aquest àmbit hi ha hagut un ajut impagable que han realitzat uns científics amb els quals fa anys que estem en contacte. Ells van néixer per altres raons, no perquè existís Cel Fosc, però ens vam descobrir mútuament i des de llavors col·laborem. Aquests científics estudien una especialitat mèdica que es diu cronobiologia. *Cronos* vol dir temps i, per tant, la cronobiologia estudia què passa als organismes diürns en els cicles biològics d'exposició a la llum i a la foscor. S'han centrat en estudiar què passa amb el nostre cos abans de dormir i què passa mentre dormim des de fa més de 30 anys. Hi ha dos equips i un d'ells està a Andalusia. Aquests han obtinguts una sèrie de resultats experimentals que són realment molt concloents. Un d'ells, per exemple, és la raó per la qual tenim son. Bàsicament, el nostre organisme conté una mena de rellotge biològic, que hi és a tots els organismes vius, ubicat en el cervell. Concretament es troba a la glàndula pineal, on hi ha un volum de cèl·lules que constitueixen el nucli supraquiasmàtic. Aleshores, mentre l'organisme rep llum la glàndula pineal està inactiva, però quan comencem a exposar-nos a la foscor esdevé activa. El nucli supraquiasmàtic detecta que baixa la il·luminació i aleshores dona una ordre perquè es comenci a segregar una hormona, la melatonina. Aquesta ara està comercialitzada i sol ser adquirida per gent amb problemes de son. El cas és que quan augmenta la concentració de melatonina a la sang comencem a sentir la necessitat de dormir. Si ens exposem a la llum artificial a partir del moment que el sol s'ha post, la secreció de melatonina no comença quan hauria de començar, sinó que es retarda. També pot ser que comenci, però amb un percentatge de secreció molt baix. De fet, si el procés fos natural, si no existís la llum artificial, a partir del moment en què el sol s'amagués hauríem d'actuar com les gallines, és a dir, anar-nos a dormir a la posta de sol. En canvi, això fa molt de temps que no ho fem. El que ens passa ara és que quan anem a dormir, si no estem exposats a cap llum artificial, la secreció de melatonina arriba al màxim de concentració en sang i es manté aquest màxim fins que tornem a estar exposats a la llum solar. Si a l'habitació entra llum del carrer per la finestra, o bé hi ha algun dispositiu amb il·luminació (fins i tot els LEDs vermells d'alguns aparells electrònics), la secreció de melatonina baixa. Aleshores, els investigadors que s'han centrat en aquest tema han descobert que hi ha una sèrie de patologies que són induïdes per l'alteració de la concentració de melatonina. Algunes d'aquestes en són l'obesitat, la diabetis i fins i tot d'altres més

greus, les quals sempre en parlem amb molta cura. Tampoc no volem ser alarmistes, però hi ha estudis que conclouen que, efectivament, el dèficit de concentració de melatonina en sang pot acabar provocant problemes físics seriosos. Entre ells s'inclouen l'aparició de determinats tipus de càncer: càncer de pit en el cas de les dones i, en el cas dels homes, càncer de colon, de pròstata, etc. Els estudis que acrediten això són concloents, però encara està per veure si això no ens afecta més, que dependrà de la investigació que es vagi fent en aquest terreny. Doncs aquesta es la qüestió, el fet que ens agradi la llum fa que la contaminació lumínica sigui la parenta de totes les formes de contaminació, lamentablement. Per exemple, els fums contaminants ens molesten i ens ofeguen, per tant, no els volem respirar; la radioactivitat produeix moltes malalties, i com aquests molts més. Ara bé, la llum, al ser animals diürns, ens agrada i, per tant, no tenim cap problema amb la seva utilització durant la nit al no ser un impediment. De fet es pot veure clarament: allarguem el dia per estar mes temps amb la família, per produir industrialment durant la nit, per mantenir la indústria de l'oci nocturn, etc. Al ser tan grans els avantatges la gent no és conscient que el problema és monumental. D'altra banda, tampoc hi ha culte, és a dir, no hi ha un interès excessiu per part dels polítics per potenciar els estudis científics i crear lleis que verdaderament serveixin per frenar el problema.

- **L'estudi de la contaminació lumínica, vostè el té com a un hobby o com a una feina?**

La resposta és ni una cosa ni l'altra. Per mi a l'actualitat l'estudi de la contaminació lumínica és un deure moral que jo tinc, ni més ni menys. Des de l'any 1992 no he fet altre cosa que activisme, divulgació d'informació a través de xerrades, conferències...

- **Amb la lluita contra la contaminació lumínica sorgeix un dilema. Els llums de més baix consum i més eficiència com els LED són els que solen contaminar més. Quina creu que podria ser la solució o on es troba l'equilibri?**

S'ha de dir que quan nosaltres vam començar, teníem una situació molt avantatjosa. Jo solia parlar amb un dels enginyers que va participar en la comissió tècnica que va elaborar la llei de Catalunya en aquell moment i que també era el director de l'empresa de serveis i sempre em deia el mateix. Em deia que teníem la gran sort que, de totes les formes de contaminació que existeixen, la lumínica és la única que

es guanyen diners combatent-la. Per combatre els altres tipus s'han de fer moltes inversions a fons perdut, però per la lumínica no. Això ho deia per una raó, perquè les bombetes de la il·luminació exterior eren d'una tipologia molt marcada. Unes d'elles havien de ser de llum blanca, les bombetes de vapor de mercuri. Tenen a dins un vapor que conté mercuri, altament contaminant, i això dificulta el seu reciclatge. També hi havia bombetes de vapor de sodi d'alta o baixa pressió. De baixa pressió n'hi havia poquíssimes, la majoria eren i són d'alta pressió. La durada de vida de la bombeta de vapor de sodi d'alta pressió era molt més llarga i, a més a més era més eficient, perquè estalviaves llum, electricitat i diners. En aquell moment, a banda d'aquests dos tipus, que conformaven la majoria de bombetes, també existien unes altres que tenien la llum blanca i podien tenir tonalitats intermitges. Aquestes es deien bombetes d'hal·lurs metàl·lics. D'aquestes n'hi havien poques. Llavors és quan es va començar la història dels LEDs i tot va canviar. La llum dels LEDs és molt blanca, és blanca amb component blau. Un petit incís, quan parlem de la temperatura color de les bombetes ens estem referint al fet que la font de llum pot tenir una temperatura alta o baixa. Com més alta és la temperatura, més blanca i blava és la llum i com més baixa és (com per exemple les de vapor de sodi de baixa pressió), més tirant cap al vermell és. També influeix la longitud d'ona: la llum vermella té longituds d'ona llargues i la llum blanca té longituds d'ona curtes. En el cas de les làmpades de vapor de mercuri, que tenien la llum blanca, el seu ús no sortia rentable, ja que estalviaven més diners amb les de vapor de sodi. Ara bé, quan es van inventar els LEDs la situació va canviar: les bombetes que permetien estalviar més diners eren les de temperatura més alta. En veure això, les companyies productores, i distribuïdores van veure que en podrien treure un gran benefici. En aquell temps, fa uns deu anys enrere, que ja es començava a parlar de canvi climàtic seriosament, és el moment en què van començar a implantar-se. Per cert, a l'any 1994 nosaltres ja parlàvem del canvi climàtic, deiem que seria un greu problema pel planeta i que la contaminació lumínica era una contribució no menyspreable al seu increment. Tornant a l'explicació, el que va passar és que els tècnics que fan els projectes d'il·luminació en els ajuntaments, desinformats o no donant importància a la contaminació lumínica, han anat impulsant la implantació dels LEDs. El problema amb aquests dispositius és que s'ha descobert que la llum blanca, sobretot si té un component blau elevat, és la més perjudicial pel medi ambient i per la salut. Aquesta és la que

més es dispersa a través de l'atmosfera, la que arriba més lluny amb la seva dispersió i la que més afecta a les espècies nocturnes. En canvi, la llum ataronjada, que té una longitud d'ona més llarga, és la menys agressiva pel medi ambient i per a la salut. Per exemple, si a la nit t'exposes a una llum blanca, la concentració de melatonina en sang estarà al voltant de zero. En canvi, si t'exposes una llum vermella, tindràs un 50% de melatonina en sang, per exemple. La investigació científica s'ha centrat en estudiar això, i acredita que la contaminació lumínica és un problema grandíol i que empitjorarà en el futur si no s'atura. El més imprescindible és aturar el creixement, i després el que s'ha de fer és descontaminar. Tal i com es faria amb la contaminació química, que s'han de retirar les terres contaminades pels agents químics perjudicials, es fa amb la lumínica. Per tant, les estratègies per minimitzar la contaminació lumínica són les següents. Els LEDs també tenen avantatges, un d'ells és que la seva geometria focalitza molt la llum, és a dir, si inclines la lluminària LED cap a baix, tota la llum es projecta cap a baix. El que hem proposat des de sempre és una cosa prou simple: cal il·luminar exclusivament la superfície on s'ha de desenvolupar l'activitat que requereix de llum. El que no té sentit és enviar llum fora d'aquesta superfície. També és important utilitzar la quantitat de llum necessària per desenvolupar l'activitat, però no més. Això avui en dia està perfectament quantificat, la ciència ens diu perfectament com fer-ho i quina tecnologia utilitzar per fer-ho. Per tant, com a primer punt, la llum focalitzada i en la quantitat correcta. El segon punt és no enviar llum cap al cel, perquè és un malbaratament energètic que avui dia tothom entén que és totalment irracional. El tercer punt és utilitzar la temperatura de color que menys agredeix el medi ambient i la salut. En el cas dels LEDs, utilitzar-ne uns de temperatura de color inferior a 2700K en els llocs que la incidència de la llum sigui directa. Per exemple, imaginem-nos un poble que estigui situat dins un espai natural protegit i no es poden posar noves il·luminacions, però el poble ha d'estar il·luminat. Aleshores, al poble hi ha d'haver la llum menys agressiva pel medi ambient, i això vol dir làmpades LED amb temperatura de color inferior a 2700K. Cal aclarar que les làmpades de vapor de sodi d'alta pressió són tan eficaces com els LEDs, però el negoci d'aquests últims és multimilionari i s'està apostant per ells. Els LEDs que agredeixen menys el medi ambient són un tipus de LED amb una temperatura de color de menys de 2000K, que es diuen *PC Àmbar*. Aquesta és la millor il·luminació que pot haver-hi en un espai. Aquesta és la qüestió. Avui dia la situació està en un punt que jo

m'atreviria a qualificar-lo com a punt d'inflexió, perquè estem arribant a un nivell que ja no podem ultrapassar. No podem contaminar més lumínicament de cap de les maneres, perquè ja només sabent el dany que provoca, no em vull ni imaginar el que encara desconeixem. Hi ha una incidència a la biodiversitat molt gran i sabem com afecta la llum a les espècies nocturnes. De la mateixa manera que els ocells, per exemple, s'allunyen d'un lloc sorollós per fer els seus nius i criar a les seves cries, tots els animals nocturns s'allunyen dels llocs que són il·luminats, excepte aquells que tenen capacitat per adaptar-s'hi. Però la contaminació lumínica afecta a tots els éssers: a les aus, als amfibis, als rèptils, als mamífers... I darrerament el que s'està començant a estudiar seriosament és l'afectació a les espècies marines. Nosaltres ja en sabem bastant d'aquest tema, però darrerament els científics han començat a elaborar mapes de contaminació lumínica en el mar i han fet descobriments realment preocupants. De fet, es pot veure a les imatges de diferents punts de Catalunya que utilitzen alguns programes de televisió. Podem trobar imatges de la badia de Roses i la de Calafell, o fins i tot la platja de Barcelona totalment il·luminada. Això és una bogeria, ¿des de quan s'ha d'il·luminar una platja?. Una platja és un espai natural que durant el dia admet determinats usos, però que si s'il·lumina durant la nit es converteix en un espai lúdic. No es té en consideració que aquella llum que s'envia a l'aigua afecta negativament els habitants que viuen al mar. Ens podem fixar que la llum de la badia de Roses és blanca. Deu anys enrere, la llum no era blanca, era ataronjada. Això reflecteix el creixement del problema degut a la introducció de la llum blanca i aquest és l'objectiu principal que tenim ara mateix. No puc explicar què estem fent des de Cel Fosc perquè de moment és secret de confessió, però estem fent tot el possible per aconseguir que s'aprovi una normativa europea de contaminació lumínica. Una normativa que, de ser possible, s'aprovi en el segon semestre de l'any vinent, al mes de juliol. Espanya ostenta la presidència de la Unió Europea. Estem fent mans i mànigues per aconseguir que durant la presidència espanyola s'hagi elaborat una normativa europea que pugui ser rendible.

- **Com ho fan, per tal que l'associació Cel Fosc sigui cada cop més escoltada, i més coneguda?**

Aquí hi ha un problema. La veritat és que fem el que podem, perquè la contaminació lumínica té la peculiaritat que va en contra de la divulgació de la seva existència.

- **Com creuen que ho han de fer per conscienciar a la gent en relació a la contaminació lumínica i com ens diria a nosaltres que ho hem de fer per començar la lluita contra la contaminació lumínica?**

Per conscienciar a la gent en relació a la contaminació lumínica només hi ha una manera: divulgar, divulgar i divulgar, i denunciar, denunciar i denunciar des de l'activisme. S'ha de procurar que cada vegada se'n parli més del tema, sobretot en els mitjans de comunicació. Un dels avenços que hem aconseguit al llarg del temps, amb l'ajut de científics, és la construcció de dispositius anomenats fotòmetres, que mesuren la lluminositat del cel. La Universitat Complutense de Madrid, un grup de científics especialitzats en la contaminació lumínica, ha construït uns fotòmetres que es posen fixos en un lloc i van mesurant la lluminositat del fons del cel tant de dia com de nit. Quan ve la nit, les mesures es converteixen en una gràfica que inorma de la magnitud, del fons del cel d'aquell dia concret. Aquestes dades poden ser utilitzades en el futur per tenir arguments amb més pes i exigir canvis als ajuntaments. Poden ser utilitzades per demostrar que el cel està degradat a una determinada magnitud i que si volen revertir-ho és necessari realitzar canvis en la il·luminació.

A la societat astronòmica, hi ha una pàgina del Youtube on hi hem anat penjant conferències telemàtiques de persones importants que viuen fora d'aquí sobre determinats temes. Tres d'aquestes conferències realitzades per tres científics tracten sobre la contaminació lumínica. Un d'ells és un científic de la Universidad Complutense de Madrid i és el responsable d'haver dissenyat els fotòmetres que he esmentat anteriorment. Un altre es diu Salvador Baa i és un fenomen de la Universitat de Santiago de Compostela. És un especialista en fotònica: l'estudi de la naturalesa i el comportament de la llum. En la meva opinió, aquest és l'home que té més coneixement sobre la contaminació lumínica d'Espanya. A nivell mundial potser no, però és molt bo. En la seva conferència exposa el resultat de les seves investigacions i presenta uns mapes de Santiago de Compostela. Amb ells, explica com els resultats d'aquesta investigació científica permeten realitzar un control sobre els éssers vius sense gaires dificultats. Amb un mapa de Vigo i una sèrie de paràmetres numèrics explica com es pot mesurar la contaminació lumínica que pateixen unes illes situades davant de la Ría de Vigo, les illes Cíes. Per exemple, explica com mesurar la contaminació lumínica que produeix un ajuntament situat a 100 km de distància. Havent arribat a aquest grau de coneixement, no es pot negar

que avui en dia hi ha totes les eines científiques i tècniques necessàries per revertir el fenomen. El que falta és voluntat política i consciència de la gravetat del problema, i això és el que ens hem d'esforçar entre tots per aconseguir.

**RESUM:** Aquest treball tracta el tema de la contaminació lumínica. Consta d'una part teòrica, on s'explica què és la contaminació lumínica, la seva evolució, quins efectes té en els éssers vius, la seva relació amb els tipus de làmpades, etc. També consta d'una part de treball de camp on hem exposat detalladament els resultats de la investigació que hem realitzat a Palafrugell, a través d'unes mesures preses amb un aparell per mesurar la contaminació lumínica. Una part molt important del treball de camp és el mapa de contaminació lumínica de Palafrugell, una eina per representar els resultats obtinguts de forma visual. Per últim, hem entrevistat al senyor Pere Horts, activista de la contaminació lumínica i fundador de l'associació Cel Fosc, i hem utilitzat la informació que ens ha proporcionat a l'entrevista per completar el marc teòric.