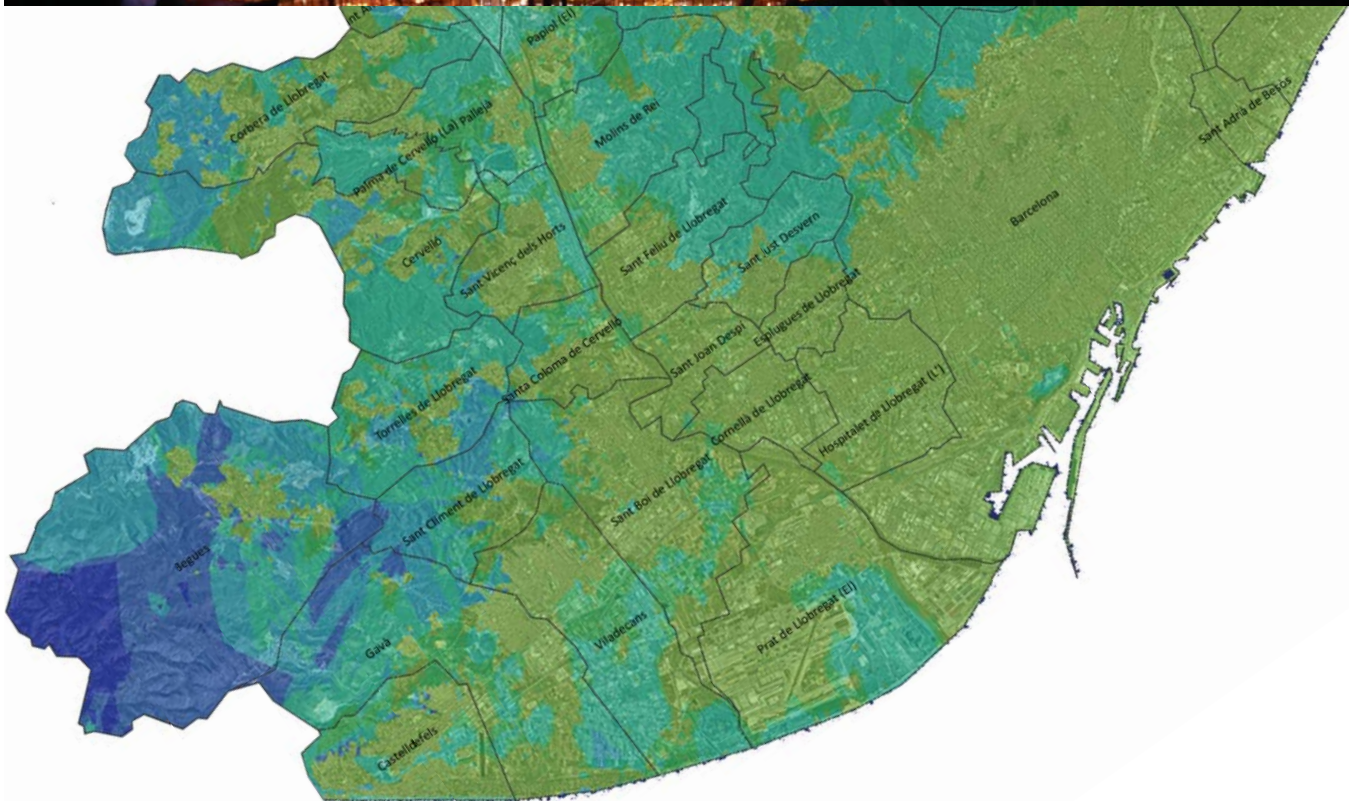


PSAMB 2014-2020

AVALUACIÓ DE L'IMPACTE AMBIENTAL LUMÍNIC DE LES INSTAL·LACIONS D'ENLLUMENAT ARTIFICIAL NOCTURN A ZONES PROTEGIDES DE L'AMB



BR

BARCELONA REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ

 **AMB** Àrea Metropolitana
de Barcelona

Treball elaborat:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB

 **AMB** Medi Ambient

Direcció:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB - Barcelona Regional

 **AMB** Medi Ambient



Redacció:

Estudis Luminotècnics, Departament de Projectes d'Enginyeria UPC



**Avaluació de l'Impacte Ambiental Lumínic (AIAL) de les
instal·lacions d'enllumenat artificial nocturn a zones
protegides de l'Àrea Metropolitana de Barcelona**

Memòria final

Barcelona

15 de desembre de 2014



Avaluació de l'Impacte Ambiental lumínic a zones protegides de l'Àrea Metropolitana de Barcelona

Equip Redactor:

Universitat Politècnica de Catalunya, Entitat consultora

Manuel Garcia Gil,	Enginyer industrial
Ramon Estrada Garcia	Enginyer industrial

Barcelona Regional (informació facilitada)

Marc Montlleó,	Coordinador del projecte
Itzel Sanromà,	Ambientòloga



Estudis Luminotècnics
ETSEIB (UPC)
Av. Diagonal, 647 Planta 10
08028 Barcelona
Tel. 93.401.71.68
Fax 93.401.66.46
manuel.garcia.gil@upc.edu

TAULA DE CONTINGUTS:

1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. Justificació i antecedents	3
1.2. Objectius de l'estudi	7
1.3. Abast.....	8
1.4. Estructura de l'informe	9
2. PROBLEMÀTICA DE LA CONTAMINACIÓ LUMÍNICA	12
2.1. Definició	12
2.2. Enfocament general: Repercussions de la problemàtica.	17
2.3. Enfocament particular. Afectació als éssers vius i als ecosistemes naturals	21
3. ESTUDI DEL FOCUS CONTAMINANT	34
3.1. Zona d'estudi: Àrea Metropolitana de Barcelona	34
3.2. Principal focus contaminant: L'Enllumenat Públic	36
3.3. Visió per satèl·lit.....	45
3.4. Anàlisi del color de la llum. L'espectre d'emissió	47
4. DIAGNÒSTIC DE LA SITUACIÓ ACTUAL	51
4.1. Metodologia.....	51
4.2. Recollida de dades d'instal·lacions	57
4.3. Recollida en l'ESPAI de fons de cel	61
4.4. Recollida en el TEMPS de fons de cel	66
4.5. Recollida en qualitat astronòmica visible (ASTMON).....	73
5. ZONES PROTEGIDES ANALITZADES:	81
5.1. Parc Natural de la Serra de Collserola	82
5.2. Espais Naturals del Delta del Llobregat	85
6. ANÀLISI DE RESULTATS:.....	87
6.1. Estat d'Impacte Ambiental lumínic actual	87
6.2. Estat de les instal·lacions d'enllumenat actuals	94
7. ACCIONS CORRECTORES RECOMANADES.....	96
7.1. Accions estructurals	97
7.2. Accions d'afectació directa al medi natural	102
7.3. Accions d'informació, sensibilització i singulars.	103
8. CONCLUSIONS	105
ÍNDEX D'ANNEXES.....	108

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Justificació i antecedents

La **contaminació lumínica** és una problemàtica mediambiental relativament recent. El seu coneixement va començar a informar-se a la dècada dels anys 60 del segle XX, mentre s'incrementava la implantació generalitzada de l'enllumenat exterior. La senyal d'alarma es va començar a generar pels astrònoms, davant la dificultat de poder trobar zones d'observació de qualitat a prop de les regions més habitades (i per tant més il·luminades).

Aquest fenomen està lligat a l'activitat industrial, la societat urbana, etc. Des de principis d'aquest segle, s'han promogut accions i reglaments per controlar la problemàtica, així com per disminuir el consum energètic associat. A l'estat espanyol s'han emprès un conjunt d'accions considerades com a innovadores i proteccionistes, degut a la importància de la illa de La Palma, on hi ha la "Ley 31/1988 de 31 de octubre y el Reglamento del Real Decreto 243/1992 del 13 de marzo".

En aquest ordre d'accions, a Catalunya es va desenvolupar la Llei 6/2001 i posteriorment el Reglament 82/2005 que desenvolupava la Llei. Aquest darrer reglament va ser derogat i en el moment de la redacció d'aquesta memòria s'acaba de publicar el Projecte de Reglament que omplirà el buit del mateix. Aquest futur reglament dóna importància a la protecció de les zones més sensibles i remet al "Mapa de protecció de la contaminació lluminosa". Els aspectes de protecció més importants, que faran incrementar el control de la problemàtica son:

- Nivells més estrictes als permisos a les lluminàries. De forma que s'adeqüin a les futures directives del "Comité Internationale d'Eclairage".
- Límit de nivells lumínic en espai temporal. Obrint un període d'especial protecció a partir de les 23:00 h UTC (mínim), l'anomenat horari NIT.
- Límit d'utilització de làmpades de llum blanca (especialment nociva) a una temperatura de color neutra (4200 K), promovent les càlides (inferiors a 3000 K).

En àmbit estatal, el Real Decret 1890/2008 (Reglament d'Eficiència Energètica de les Instal·lacions d'Enllumenat Exterior), regula l'enllumenat en general.

Davant del creixement de d'interès per aquest tema en els últims anys, es desenvolupa de forma paral·lela la investigació al voltant de la problemàtica i les seves repercussions.

En aquest progressiu increment de la preocupació, han nascut diverses iniciatives de forma recent:

- Campanyes de coneixement global i particular:
 - <http://www.citiesatnight.org>
 - <http://www.globeatnight.org>
 - <http://www.darksky.org>
 - <http://www.celfosc.org>
 - <http://www.starlight.net>
- Creació d'espais reserva d'espais foscos:

- Reserves Starlight: Montsec, Sierra Morena, La Palma, etc.
- Investigació sobre els efectes de la llum en períodes nocturns:
 - Sobre l'ésser humà (efectes sobre cicles circadianis i possibles repercussions a la salut).
 - Sobre l'ecosistema en general (aus, rèptils, insectes, etc.).

L'Àrea Metropolitana de Barcelona, actualment s'està desenvolupant el **Pla de Sostenibilitat de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (PSAMB)**, que té com a objectiu esdevenir l'instrument de referència en política ambiental metropolitana. Un llibre blanc i unes línies d'acció per desenvolupar la sostenibilitat ambiental dins del territori a diferents nivells.

Es considera, per tant, una visió transversal i coordinada en criteris de sostenibilitat ambiental i en polítiques sectorials metropolitanes (urbanisme, transport, mobilitat, etc). Aquí hi ha diferents eixos d'acció, segons les estratègies de sostenibilitat europees, estatals i catalanes:

- Energia i canvi climàtic: Eficiència energètica en general, enllumenat públic, adaptació i mitigació del canvi climàtic, promoció d'energies renovables, etc.
- Mobilitat sostenible: Mitjans de transport, promoció de la bicicleta, desplaçaments a peu, sistemes de car-sharing, etc.
- Mitjans de producció i consum: Gestió de residus, ambientalització dins la contractació, SGA, compra verda, etc.
- Gestió sostenible de recursos naturals: Aprofitament eficient dels recursos hídrics, gestió de la biodiversitat, etc.
- Salut ambiental: Qualitat de l'aire, contaminació acústica, contaminació odorífera, control de plagues, etc.
- Educació per a la sostenibilitat: Campanyes de sensibilització, activitats d'educació ambiental participació ciutadana, etc.

Aquest encàrrec està englobat en el quart punt del PSAMB relatiu a salut ambiental. L'enfocament que s'exposa a continuació, i ve a donar concreció als resultats trobats anteriorment en els dos estudis precedents, així com determinar amb exactitud l'estat de la contaminació lumínica a tota l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

Previs al treball desenvolupat, existeixen 2 documents recents que analitzen la problemàtica des de diferents perspectives:

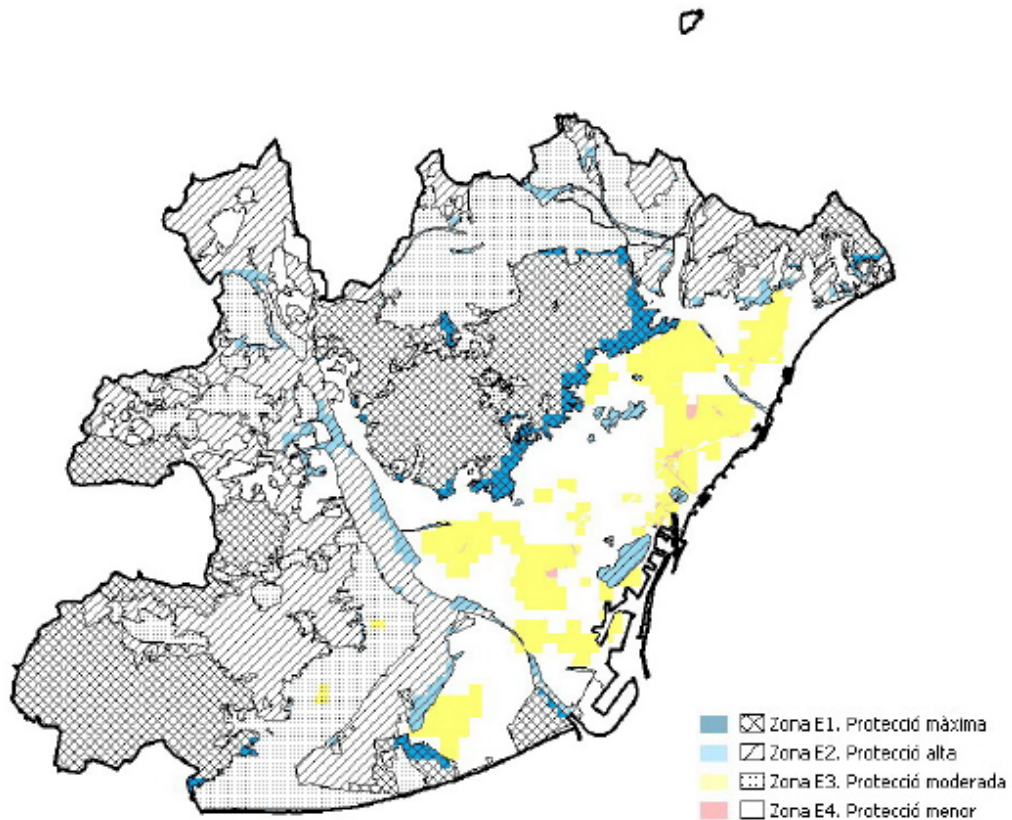
"Contaminació Llumínica a l'AMB". Desenvolupat per Barcelona Regional a setembre de 2013 en el marc del PSAMB:

Aquest treball es fa un anàlisi de:

- Les imatges per satèl·lit de la zona d'estudi, amb les zones protegides naturals i les zones de protecció E1 segons el mapa de contaminació lluminosa de la Generalitat de Catalunya. Detecta unes determinades zones de fricció, on pot existir (i de fet existeixen) repercussions importants en el que fa a la contaminació lumínica.
- Analitza models matemàtics realitzats per "l'Instituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso" (el famós "The World Atlas of artificial night sky brightness") de P. Cinzano a l'any 2000.
- Analitza les característiques d'alguns dels centres d'enllumenat més importants de l'àrea (enllumenat públic, equipaments, serveis, etc.). Veu els seus percentatges relatius en consums energètics i els compara amb regions estatals i europees.

Aquest treball ha estat utilitzat en el punt 3.3 d'aquest informe com a memòria preliminar per orientar els punts d'estudi més interessants per aprofundir. En el mapa 14 es pot veure:

Mapa 14. Friccions VIIRS_2012 – Mapa de prevenció de la contaminació lluminosa (extremes).
En trames es mostren les categories del mapa de prevenció, en colors, els valors del VIIRS_2012 que es troben més extrems, per sobre de la desviació típica de cada categoria.



Zones de fricció segons l'estudi "Contaminació lluminosa a l'AMB".

És a les zones properes a l'Aeroport de Barcelona i les zones de Collserola més properes a Barcelona, on hi ha una detecció més important de fricció.

En aquest sentit, cal dir que la visió aplicada a aquest estudi ha estat el de detecció mitjançant imatge des de l'espai i creuant amb la informació cartogràfica disponible. És d'especial interès el poder contrastar aquesta informació amb el treball de camp i anàlisi més en detall del focus contaminant, objectiu d'aquest segon treball del 2014 de contaminació lumínica del PSAMB.

"La Contaminació lumínica al Parc Natural de Collserola. Avaluació i Recomanacions." Desenvolupat per SGM. Consultora de servicios globales medioambientales al maig de 2013.

Desenvolupa un estudi orientat al Parc Natural de Collserola. Aquest treball es fonamenta en mesures puntuals georeferenciades amb el dispositiu Sky Quality Meter tipus "wide", d'angle de visió ample. També es fonamenta en un important número d'imatges orientades a focus aparents de contaminació, sense calibrar la seva possible luminància de fons de cel.

El focus contaminant s'analitza a través d'un recull de les instal·lacions més importants, i es dóna una sèrie de recomanacions per tal de disminuir la contaminació lumínica.

Com a conclusions determina una qualitat de cel dolenta ($18.3 \text{ mag/arcsec}^2$) i detecta un número important d'instal·lacions, que per la seva distància i flux lumínic total instal·lat, representen una possible gran afectació.

Les mesures experimentals realitzades en aquest estudi no són de les mateixes característiques que les realitzades en el present document, pel que els resultats són diferents en tipologia, quantitat i magnitud. El mesurador que s'ha fet servir en l'estudi de l'any 2013 ha estat el "wide" (o ample) i en l'actual estudi el "arrow" (o estret). Tenen diferent angle de recepció de brillantor de cel, per tant al captar un angle diferent del cel, les mesures poden divergir.

Proposa una sèrie de recomanacions per la minimització de la problemàtica. El present redactor, recomana contrastar-les amb professionals de l'enllumenat exterior en general.

1.2. Objectius de l'estudi

El present treball té com objectiu principal conèixer l'estat de l'afectació i possibles repercussions de la contaminació lumínica en les zones protegides i sensibles de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

La seva orientació és a la detectar l'estat real de tota l'Àrea en funció de:

- Les zones sensibles detectades: Una situació de conjunt, Zones de protecció E1 i instal·lacions problemàtiques detectades.
- Aportant la visió des de la zona d'afectació real de la contaminació lumínica (la zona de l'ecosistema natural). L'ús de les imatges per satèl·lit es faran servir només per enfocar la problemàtica.
- Fer servir equipament de mesura i detecció amb precisió diferent i determinada per tal que es pugui replicar la mesura en anys successius i així comprovar l'evolució de la problemàtica.
- Dimensionar el focus contaminant de la forma més precisa possible: Considerar els inventaris d'enllumenat públic municipal disponibles i tenir en compte l'urbanisme o singularitats d'aquests, per extreure l'Emissió de Flux Superior (EFS, magnitud en lúmens) que reflexa la quantitat de lúmens que van cap al cel.

De forma que es pugui:

- Fer una aproximació de l'estat real de la contaminació lumínica a tota la AMB i pugui ésser replicat o comparat amb situacions posteriors.
- Es pugui dimensionar i conèixer les fons més importants de contaminació d'enllumenat públic/carreteres.
- Es puguin realitzar recomanacions de minimització de les seves repercussions.

1.3. Abast

Per tal de poder assolir els objectius planificats, s'ha fet un treball de camp i posteriorment un de gabinet. El primer és molt important en dimensió temporal i en la recopilació de dades obtingudes. Aquestes mesures són:

- Determini de l'afectació de l'enllumenat sobre el fons de cel en qualitat moderada amb el dispositiu "Sky Quality Meter" tipus "arrow":
 - En distribució geogràfica: Recorregut per diferents carreteres de tota la zona d'estudi.
 - En espai temporal: Recollida de dades de fons de cel de diferents ubicacions estratègiques i sensibles, durant diversos dies seguits.
- Mesures de fons de cel amb qualitat astronòmica mitjançant el dispositiu ASTMON.
- Mesures luxomètriques i luminancimètriques d'instal·lacions singulars properes a zones naturals sensibles, i veure la seva afectació a l'entorn.

El treball de gabinet desenvolupa:

- El tractament de les dades anteriors.
- Anàlisi de l'enllumenat públic i enquestes emeses per la seva avaluació.
- Determinació de la magnitud del focus contaminant.
- Avaluació de la contaminació d'instal·lacions singulars.
- Determinar la brillantor del cel i ecosistema afectat.
- Accions correctores i resultats esperats

L'àmbit geogràfic d'estudi és l'Àrea Metropolitana de Barcelona, delimitada en els següents termes municipals que han estat recorreguts durant tot l'any 2014:

Barcelona, L'Hospitalet de Llobregat, Badalona, Santa Coloma de Gramenet, Cornellà de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, Sant Cugat del Vallès, Viladecans, El Prat de Llobregat, Castelldefels, Cerdanyola del Vallès, Esplugues de Llobregat, Gavà, Sant Feliu de Llobregat, Ripollet, Sant Adrià de Besòs, Montcada i Reixac, Sant Joan Despí, Barberà del Vallès, Sant Vicenç dels Horts, Sant Andreu de la Barca, Molins de Rei, Sant Just Desvern, Corbera de Llobregat, Badia del Vallès, Castellbisbal, Pallegà, Montgat, Cervelló, Santa Coloma de Cervelló, Tiana, Begues, Torrelles de Llobregat, El Papiol, Sant Climent de Llobregat i La Palma de Cervelló.



Zona d'influència de l'AMB en l'àmbit del Medi Ambient

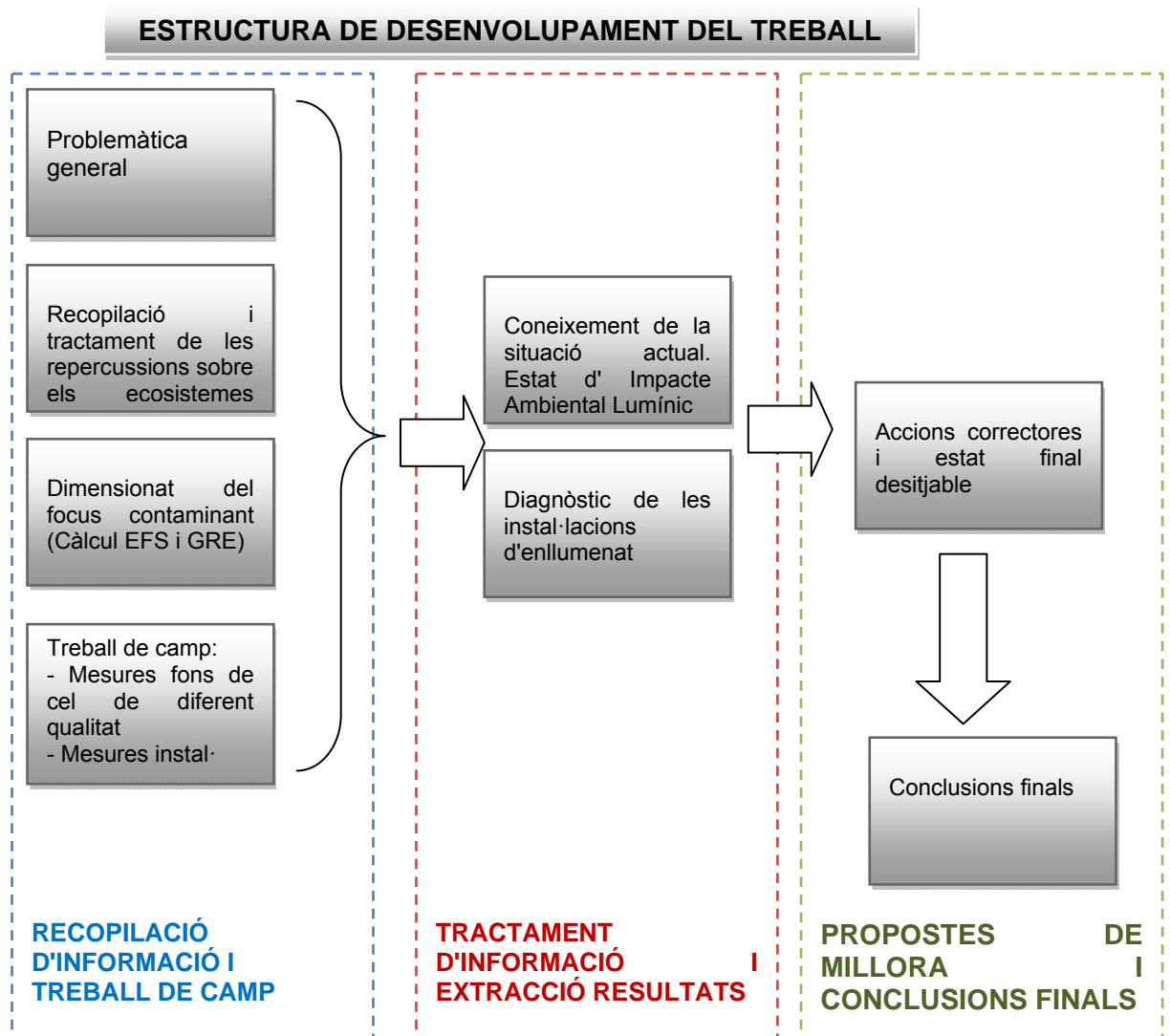
L'àmbit d'estudi és l'hàbitat natural protegit, principalment, afectat tant:

- Cel nocturn.
- Hàbitat terrestre d'espècies.

No s'estudia en aquest encàrrec l'afectació o repercussions sobre l'ésser humà.

1.4. Estructura de l'informe

El desenvolupament del treball ha estat un compendi entre tractament bibliogràfic de dades d'estudis científics, un extens treball de camp, una recopilació d'informació sobre dades d'enllumenat i un anàlisi posterior de les dades per finalment obtenir uns resultats i conclusions finals. En forma de gràfic la metodologia de treball es pot veure de la següent forma:



Aquest procediment s'integra de la següent manera en l'estructura de l'informe:

- Enfocament i descripció de la problemàtica: *Apartats 1 i 2* per les descripcions generals, consideracions de treball i anàlisi de la problemàtica aplicada, i l'*Apartat 3.1 i 3.3* per posar en context l'àrea de treball i els punts més interessants de l'enfocament analitzat.
- Recopilació d'informació: A l'*Apartat 3.2* es descriu la informació d'enllumenat públic recopilat, a l'*Apartat 4* es veuen les mesures i treball de camp realitzades en totes les seves tipologies i a l'*Apartat 5* les espècies analitzades al Parc de Natural de Collserola.
- Tractament i extracció de resultats: A l'*Apartat 5* per les espècies analitzades, l'*Apartat 6* en el que fa a resultats de caràcter general i al *Apartat 3.2 i 4* es citen alguns resultats parcials.
- Propostes de millora i resultats finals: *Apartats 7 i 8*.

Com es pot veure al inici del document, l'**índex** queda de la següent forma:

1. Introducció.
2. Problemàtica de la contaminació lumínica.
3. Estudi del focus contaminant.
4. Diagnòstic de la situació actual.
5. Zones protegides analitzades.
6. Anàlisi de resultats.
7. Accions correctores recomanades.
8. Conclusions.

2. PROBLEMÀTICA DE LA CONTAMINACIÓ LUMÍNICA

2.1. Definició

La contaminació lumínica és un fenomen de distorsió i alteració dels entorns naturals en hores nocturnes. Aquest es va iniciar amb la intensificació de l'activitat humana a la nit, que va ser possible gràcies a la optimització de la llum generada per les antigues làmpades d'oli, a través de la làmpada d'incandescència patentada per Thomas Edison.

De forma que, amb la millora de la tecnologia de l'enllumenat i l'acumulació de la població en ciutats, es va crear la necessitat d'il·luminar creant de retruc la font de la contaminació lluminosa.

Una imatge molt típica per il·lustrar-ho és la imatge de Los Angeles en la seva evolució temporal:



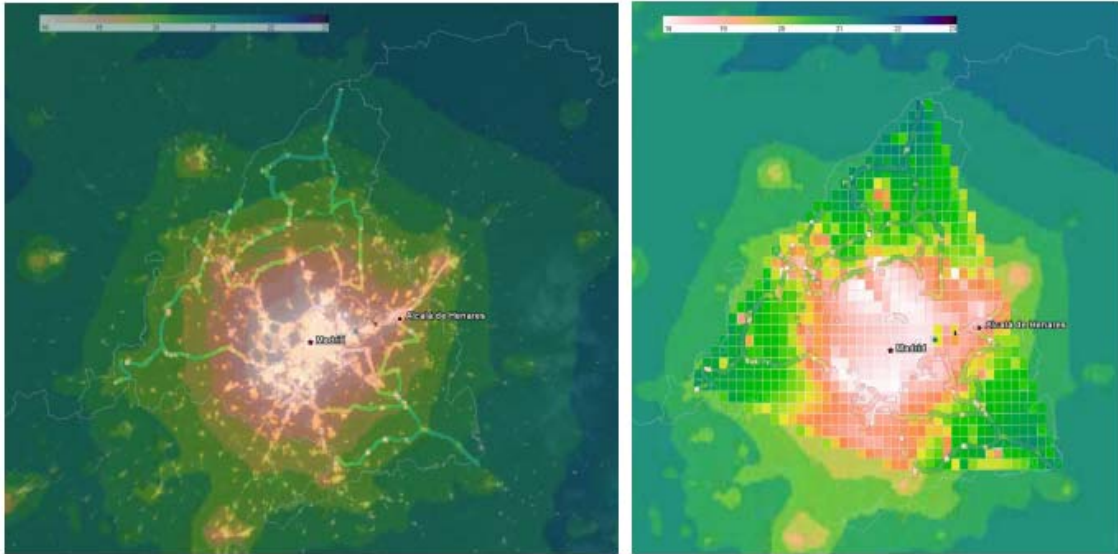
Los Ángeles (EUA). Des de 1902 a 2002

El focus contaminant i generador de la pol·lució és l'enllumenat artificial nocturn que modifica la foscor natural dels hàbitats dels éssers vius. En aquesta situació, i després de moltes formes d'encarar la problemàtica, l'associació internacional DarkSky, la defineix com:

"Qualsevol afectació al medi natural que estigui ocasionada per la il·luminació artificial nocturna. Aquestes afectacions són per exemple: la resplendor lluminosa de la cúpula celest, la llum intrusa en hàbitats naturals foscos, l'enlluernament i el consum energètic"

A mesura que les eficiències energètiques i els sistemes d'enllumenat han anat augmentant, s'han elevat els nivells lumínics i per tant l'efecte de la contaminació. La llum escapa de les zones il·luminades, i crea un efecte de "gran bombeta" igual que l'illa de calor pel que fa a l'increment de la temperatura en les zones urbanes. A la nit els espais que haurien de ser foscos creen un resplendor lluminós, que és l'halo que genera la llum per reflexió o refracció en les partícules que formen l'atmosfera (àtoms o partícules en suspensió).

La visió de la contaminació lumínica des de l'espai aproximen i donen informació per models matemàtics de com poden ser la contaminació, a nivell de superfície.

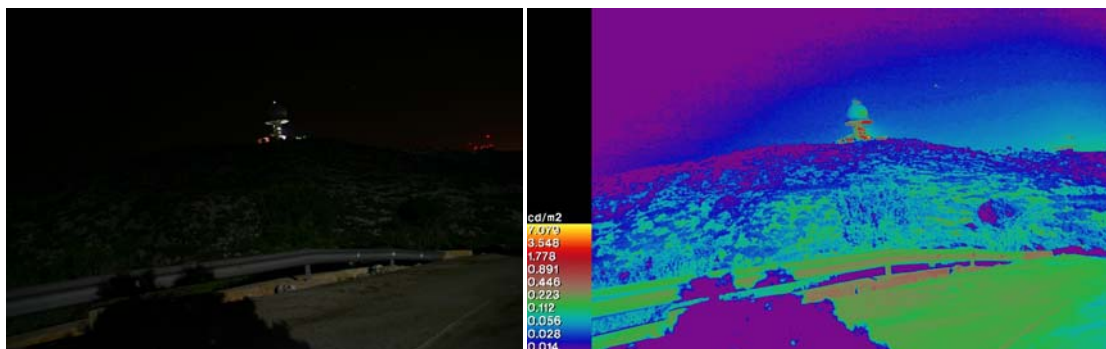


Comparació de model matemàtic de fons de cel a l'Àrea Metropolitana de Madrid (Font: "Contaminación Lumínica en España 2010". Alejandro Sanchez de Miguel. UCM)

Una altra afectació és la **intrusió de llum** en llocs on afecta a éssers vius (vegetals, animals, etc.). Aquesta afecta a hàbitats nocturns, a ecosistemes o de descans (vivendes).



Exemples d'afectació a vivendes.

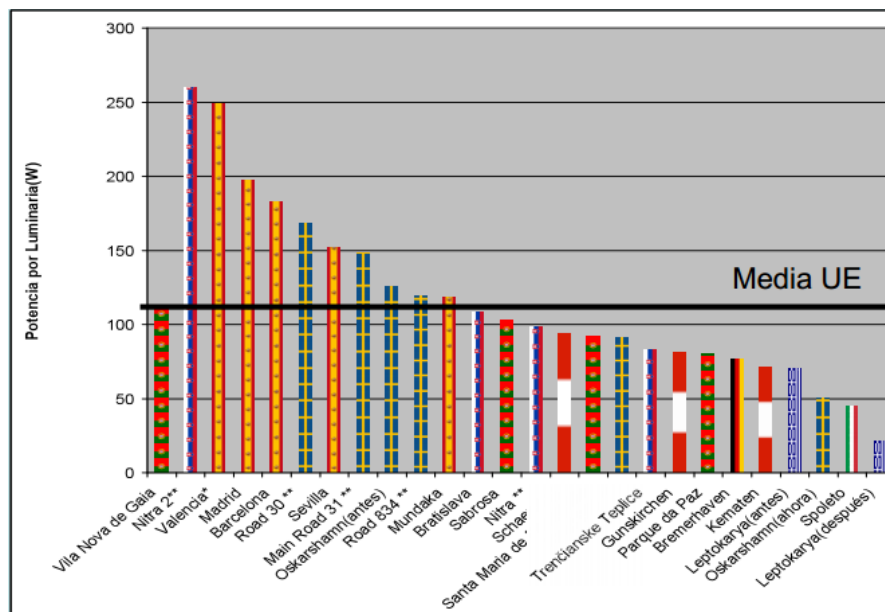
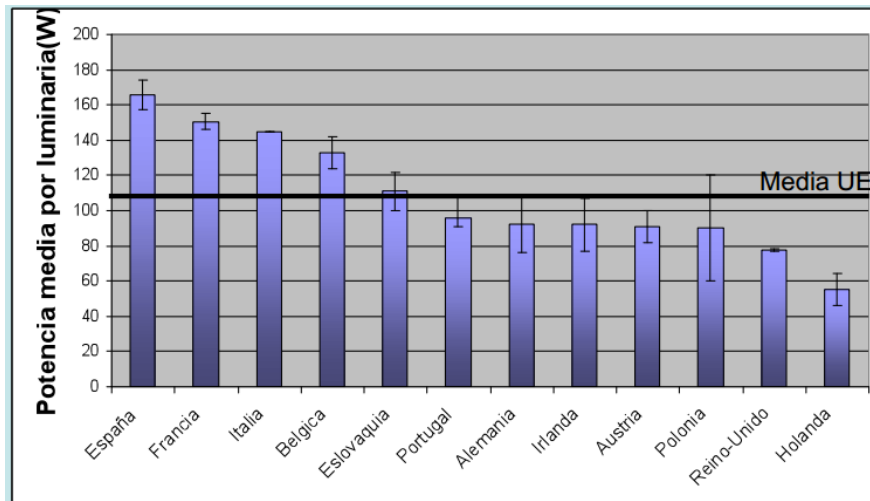


Afectació a zones sensibles: Espai natural a P.N. del Garraf. Imatge i tractament luminancimètric

Tota aquesta llum ocasiona unes **pèrdues energètiques molt importants**. En aquest sentit, s'ha de comentar el pes específic de consum elèctric de l'enllumenat públic que pot representar inclús el 50% del consum elèctric total d'alguns ajuntaments.

Pel cas d'Espanya, podem considerar les següents dades per apreciar la importància del vector d'anàlisi energètic:

Un estudi de la Universidad Complutense de Madrid exposa:



Ratis i comparatius de potències unitàries mitges a l'estat espanyol respecte a la UE (Font: "Contaminación lumínica en España". Alejandro Sánchez de Miguel & Jaime Zamorano. 2008)

On es poden veure les tendències de sobre il·luminació i també es poden veure les tendències a l'alça, en anys inicials a la crisi econòmica actual.

A Catalunya la situació no es especialment millor. Tot i tenir una herència de la Llei de 6/2001 d'ordenació ambiental de l'enllumenat, les dades obtingudes a l'any 2013 de l'estudi realitzat pel Col·legi d'Enginyers i la Universitat Politècnica de Catalunya

"Estudi per valorar l'impacte a Catalunya del reglament de desenvolupament de la Llei 6/2001 d'ordenació ambiental de l'enllumenat" especifica:

DADES ACTUALS ESTIMADES D' ENLLUMENAT PUBLIC CATALUNYA (2013)	
Municipis	947
Total Potència Instal·lada [kW]	198.960 kW
Total punts de llum [unitats]	1.408.304
Pot. Instal·lada /P.II.	141 W/p.II.
FHS _i promig	15%
Gasos Efecte Hivernacle [tn CO ₂ _{eq}] ¹	214.038 tn CO ₂ eq

Taula de dades resum de l'Enllumenat Públic a Catalunya. (Font: "Estudi per valorar l'impacte a Catalunya del reglament de desenvolupament de la Llei 6/2001 d'ordenació ambiental de l'enllumenat". 2013. COEIC / UPC)

Les causes de la contaminació lumínica provenen de la vida i societat actuals, on la necessitat d'il·luminar està molt acceptada. De fet, dotar del servei d'enllumenat públic a tota zona urbanitzada és obligatori per llei. L'enllumenat dona suport a tot tipus d'activitats i la seva funció està justificada entre altres funcionalitats per:

- Crear condicions de seguretat ciutadana.
- Millorar la seguretat en la circulació de carreteres, vies, carrers, etc.
- Donar fluïdesa i comoditat de l'activitat.
- Evitar riscos i accidents a activitats industrials.
- Permetre l'activitat social de l'individu.
- Donar representativitat i ornament a les ciutats o pobles.

La funció doncs, està clarament justificada per tal de mantenir l'activitat que es dona en hores de foscor en l'actualitat. Imatges com les que es mostren a continuació són inviables a la nostra societat:



Fotomuntatge del Pont de Brooklyn i París sense cap tipus d'enllumenat (Font: Thierry Cohen)

Mentre hi hagi il·luminació artificial nocturna, hi haurà contaminació lumínica, per emissió directa, o reflexió. En funció de la tipologia dels sistemes d'enllumenat es pot

¹ Segons el mix elèctric es consideren 300 gr CO₂eq/kWh segons la Nota Informativa del 13 de març de 2013 de la Oficina Catalana del Canvi Climàtic.

crear més o menys contaminació, però en tot cas, es pot mantenir perfectament la funció i servei de l'enllumenat, minimitzant els inconvenients per l'ecosistema natural nocturn:



La Serena. Xile. Aspecte de la ciutat abans i després de la reforma total de l'enllumenat públic. A la segona imatge es pot observar la contaminació lumínica minimitzada per no crear interferències als centre d'observació astronòmica. Fuente: OPCC Norte de Chile

La problemàtica és completa no només tenint en compte la quantitat de llum que s'emet cap a l'entorn protegit, si no també el tipus de llum: L'espectre d'emissió. La llum amb component d'emissió els tons blaus (espectres d'emissió en ona curta), són especialment nocius. Aquests són els que corresponen a **la llum blanca, que té un impacte ambiental superior a la llum càlida o groguenca.**

Tal com cita la "Declaración sobre el uso de la luz blanca rica en componente azul para el alumbrado nocturno" (emesa aquest any 2014 per l'*International Working Group of administrations for the Protection of the NightSky*), els temes a considerar en la llum de component blava són diversos. Per una banda la dispersió a l'atmosfera, responsable de la brillantor del cel, és més pronunciada per la llum blava que per la vermella degut als processos físics implicats (principalment la dispersió de Rayleigh) i és l'explicació de perquè el cel és blau durant el dia.

També cal destacar i posteriorment es comentarà en profunditat, que els insectes i altres éssers vius són especialment sensibles a la llum d'aquestes característiques, i hi ha efectes de disminució de població o possibles extincions.

També l'ésser humà és especialment sensible a aquest tipus de llum. Els cicles de funcionament nit i dia dels mamífers en general, i dels humans en particular, es sincronitzen a partir del nucli supraquiasmàtic de l'hipotàlam que està allotjat al nostre cervell. La llum és un dels elements més importants que influeixen en el rellotge central a través d'un camí no visual de l'ull. És a dir, entrada d'energia lumínica que tot i que no veiem, afecta a la secreció d'hormones que regulen aquests cicles. Aquesta entrada lumínica és especialment eficaç en tons blancs blavosos.

És per això, que una mateixa il·luminació amb llum blanca potser molt més agressiva a l'entorn natural nocturn que una amb llum groga per l'espectre energètic de la radiació lluminosa, i en totes les seves afectacions: cel, ecosistemes naturals i éssers humans. Especialment important és la problemàtica en instal·lacions de llums tipus LED.

2.2. Enfocament general: Repercussions de la problemàtica.

El coneixement de les repercussions de la contaminació lumínica que en un primer moment eren desconegudes, va incrementant-se contínuament, a mesura que es realitzen estudis i documents científics. Aquests estudis analitzen sinergies, comportaments nous en animals i altres factors.

Amb un enfocament generalista, els efectes directes de la contaminació lumínica es poden particularitzar analitzant el lloc on impacta la llum:

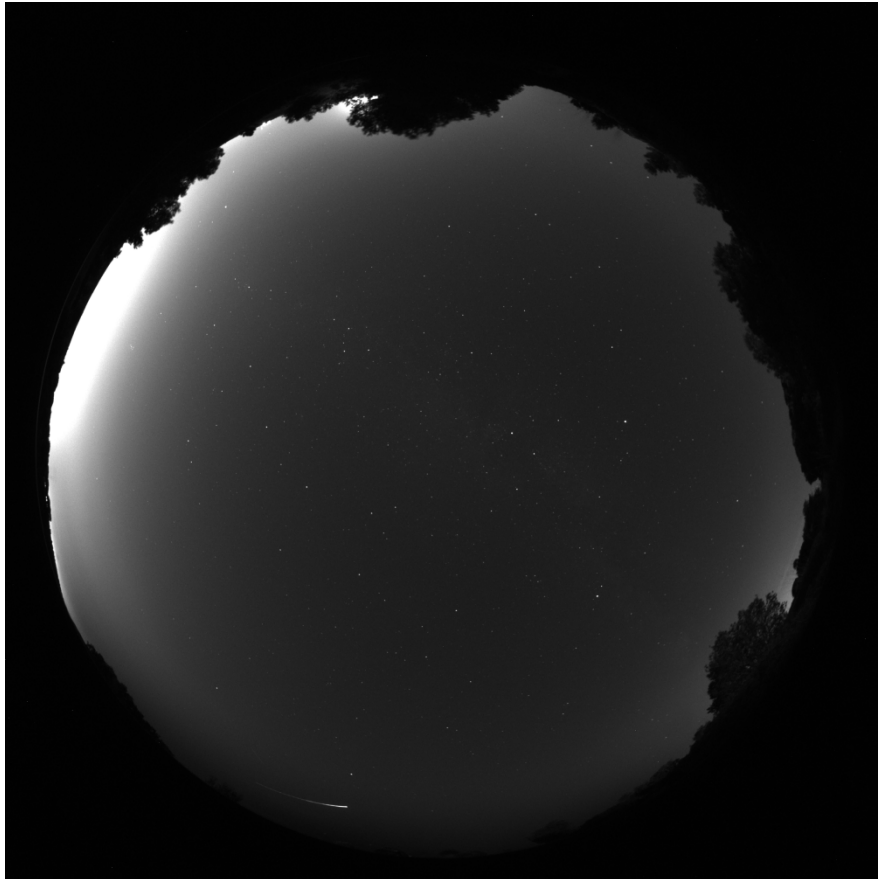
- Sobre el cel nocturn.
- Sobre l'hàbitat humà.
- Sobre el espais naturals.
- Altres.

Els efectes sobre el cel nocturn és l'efecte més conegut. Veiem els astres pel seu contrast amb el fons de cel. Al llarg del dia, la llum del Sol esclareix el cel i no podem veure'ls.



Imatge del P.N. Garraf

La dispersió de la llum nocturna en l'atmosfera indueix en un augment de la claredat del fons del cel, que supera la de les estrelles, i per tant no podem veure-les per contrast. En algunes zones, amb molta densitat de il·luminació artificial arriben a desaparèixer per complert.



Imatge amb ASTMON a P.N. Garraf

Per comparació, imatge de zona poc contaminada (fora de l'Àrea Metropolitana de Barcelona).



Imatge de la Via Làctia a zona poc contaminada lumínicament

De forma progressiva, amb la implantació de l'enllumenat als carrers, els observatoris astronòmics van començar patir aquesta interferència de la llum artificial. Tot i que en principi representava només una petita disminució de la claredat, en continuar l'increment es va convertir en una amenaça a la viabilitat dels observatoris situats en zones de certa densitat de població. Un exemple d'això és l'Observatori Fabra

(<http://www.occ.upf.edu/>) a la falda de Collserola, i que l'efecte de tota la contaminació lumínica de l'AMB en general i de Barcelona en particular fa que actualment es dediqui a activitats d'investigació de baix nivell i d'estudi del Sol.

Un efecte que també té una gran importància i s'està ampliant el coneixement del mateix, són els **efectes sobre la salut humana**. Això es dona normalment per la incidència de la llum als domicilis en zones de descans, degut a la intrusió de la llum dins de la privacitat de l'hàbitat de l'ésser humà. Aquesta intrusió pot ser-nos indiferent en molts casos, fins i tot ens pot afavorir, però en altres ocasions ens pot dificultar el repòs o descans (dormir, escoltar música, meditar, etc). Quan la llum s'introdueix específicament en un recinte on es busca el descans, ens dificulta les condicions d'aïllament i fosc, alterant els cicles naturals de les persones d'activitat i repòs. Actualment s'estudien els efectes a la Cronobiologia, i es demostra que aquestes alteracions incideixen de forma important sobre la salut humana. D'aquestes afectacions, s'ha documentat la influència sobre diverses patologies des de depressions, insomni, a propensió de patir càncer de pròstata o pit.

Els efectes sobre els espais naturals tenen una influència superior, i el que és més important: PERDURABLE. Si el resplendor del cel desapareix un cop s'apaguen les llums, els efectes sobre els ecosistemes no, doncs és possible que s'hagi degradat com per fer desaparèixer l'ecosistema nocturn, fent-lo irrecuperable per si sol.

El nostre planeta fa 500 milions d'anys que funciona amb el cicle d'alternança llum-fosc. Aquestes condicions han fet evolucionar la vida i per tant el metabolisme i activitats dels organismes. Alguns dels efectes sobre els éssers vius són:

- Alimentació: No només de la pròpia espècie sinó també de les relacionades directament en la cadena tròfica.
- Reproducció: Per comportaments basats en la llum o la visió.
- Relació depredador-presa: Forma de caça o amagar-se relacionades amb aquesta activitat.

En tot cas, aquests canvis de les condicions afecten a l'equilibri ecològic més acusadament a les espècies nocturnes, que per una altra banda són les majoritàries.



Guineu fotografiada (i enlluernada) durant el treball de camp al P.N. Garraf

Aquest és el punt més important d'estudi de l'encàrrec i serà estudiat en detall en el següent apartat 2.3.

I després hi ha altres **efectes, anomenats socioeconòmics**. Es poden classificar en:

- Energètics: Per l'increment de consum energètic que genera l'ús no procedent de l'enllumenat.
- Culturals: La pèrdua de la visió de la nit, i particularment del cel estrellat, priva a la població d'uns referents bàsics. Han estat de gran importància en la nostra cultura: Des del signes del Zodíac fins als quadres impressionistes del Van Gogh.



Reproducció contaminada lumínicament



Quadre original

Un sector que comença a notar la problemàtica és el turisme de natura. Hi ha diferents operadors turístics implicats en la iniciativa Starlight.net, on hi ha allotjaments i ubicacions en funció de la seva qualitat del cel nocturn. El Projecte de Llei de desenvolupament de la Llei 6/2001, preveu la figura d'espais de cel de qualitat, com espais on es pot gaudir i mantenir les condicions de foscor natural.

Hi ha **altres efectes**, que tot i que no estan encara totalment estudiats, ja apunten a repercussions en molts casos de difícil control: Per exemple:

- Sobre els vegetals, el mecanisme dels quals es basa en la funció clorofíl·lica, activada per la llum, es veuen afectats per la inhabilitació actual de la nocturnitat. Hi ha afectacions sobre el creixement de l'arròs que la contaminació lumínica produeix collites més dèbils i minses.
- Sinèrgia amb la contaminació atmosfèrica: Els últims estudis (H. Stark 2011) han determinat que durant la nit, els radicals NOx contaminants de l'atmosfera es descomponen en absència de llum. En no existir l'absència total, s'estima que en ciutats la contaminació lumínica pot produir un efecte potenciador de la contaminació atmosfèrica d'entre el 3-5 %.

2.3. Enfocament particular. Afectació als éssers vius i als ecosistemes naturals

El planeta Terra s'ha regit durant milions d'unes característiques específiques, que el fan especial respecte a altres similars:

- Estaà a una distància determinada del Sol (entre 147-152 milions de kilòmetres), distància que permet tenir unes temperatures ni molt càlides ni molt fredes, variables en el cicle de rotació
- Està inclinada 1,5 graus respecte al pla orbital, que afegint el factor anterior, potencia la estacionalitat del clima, en funció de la seva ubicació en la geografia del planeta.
- Té una atmosfera que ens protegeix de les radiacions perilloses del Sol (les UV o R-X...) i redueix la variabilitat de temperatura, de la que tindria en la alternància nit i dia.
- Té un període de translació d'aproximadament 365 dies i en rotació al seu propi eix de quasi 24 hores.

Aquestes característiques i altres similars, han estat invariables durant milions d'anys. Els ecosistemes de la Terra s'han adaptat a elles.



Visió del planeta Terra des de la Lluna

ADAPTACIÓ A L' ECOSISTEMA NATURAL DE FOSCOR NATURAL:

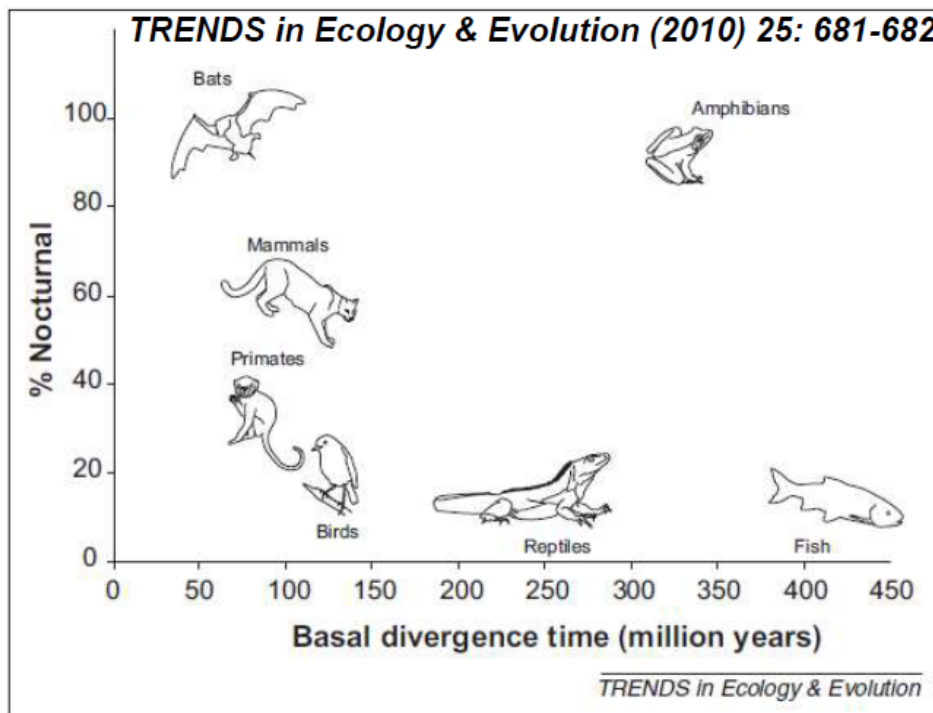
La majoria d'espècies vegetals de climes estacionals reconeixen quan s'ha d'iniciar la floració en funció de l'augment d'hores de Sol (primavera) i coneixen quan s'ha d'entrar en la hivernació quan s'escurça el dia a l'hivern.

I és que les **espècies han après i han evolucionat per adaptar-se als diferents ecosistemes que existeixen a la Terra en espai i temps. Això és: Segons característiques de terreny, clima, i modificació d'aquest en l'any i el dia.**

En concret, i remetent-nos a l'abast del treball, s'han adaptat a l'alternança nit i dia, com una necessitat vital en el desenvolupament de la seva vida tal com la coneixem. En una simbiosis necessària entre:

- Vigília –activitat
- Descans – treball
- Refrigerar – escalfar
- Floració – hivernació
- Etc.

I sovint les espècies han escollit ser espècies: diürnes, nocturnes i/o mixtes. La majoria d'espècies de la Terra són nocturnes:



Diferent tipologia d'espècie de vertebrats segons a seva procedència a la evolució i la seva activitat nocturna. Font: TRENDIS in Ecology & Evoluton

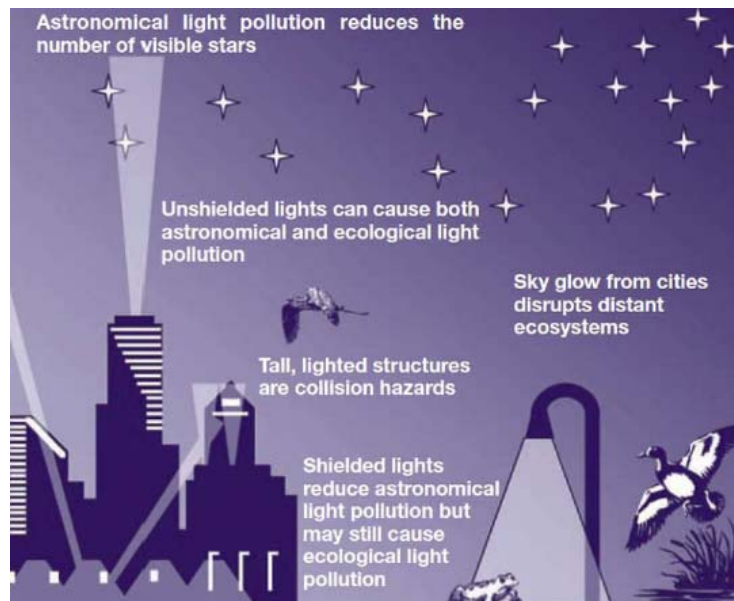
A mode de il·lustració, enumerar alguns:

- Quasi tots els marsupials són nocturns
- El 3% de les aus, un 50% de les quals són caçadores
- 65% de les aus migratòries fan els seus trajectes de viatge durant la nit
- Els rosegadors, que són un 40% dels mamífers, són en un 90% nocturns
- El ratpenats són majoritàriament nocturns, i representen un 25% dels mamífers.

- D'entre la majoria de carnívors, també destaquen els nocturns: Llops, gats salvatges, ossos, guineus...
- La majoria d'amfibis: S'amaguen durant el dia
- Moltes espècies de serps, i cocodrils són nocturnes
- La majoria d'artròpodes.. el 80% de les papallones.

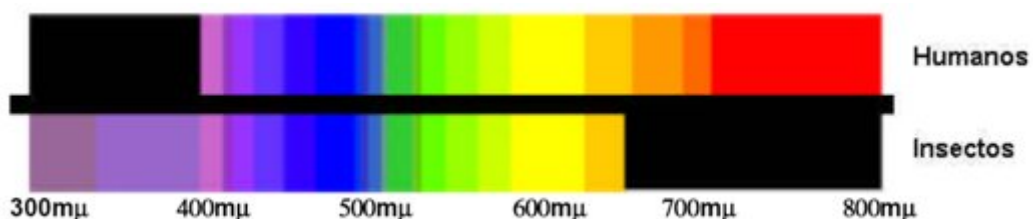
Estem doncs, davant d'una gran quantitat d'animals que han adaptat els seus comportaments, instints i fisiologia, als terrenys d'activitat, en situacions de **fosc natural**.

Un pioner a l'estudi d'aquestes repercussions van ser T. Longcore i C. Rich amb la publicació "Ecological light pollution" a l'any 2004:



Imatge il·lustrativa d'algunes repercussions de contaminació lumínica a éssers vius. T. Longcore and C. Rich "Ecological light pollution". Front Ecol. Environ. (2004),2(4);191-198

Aquest animals, necessiten doncs, condicions naturals per mantenir-se en l'alternança nit-dia / llum-fosc natural. A més, i degut a això, els animals nocturns i diürns han desenvolupat sistemes visuals diferents. Normalment els animals diürns tenim una visió relacionada amb la llum majoritària durant la etapa en que més desenvolupem la nostra activitat: Visió diürna(visió denominada fotòpica); i els nocturns visió nocturna (visió escotòpica).



Comparació de la sensibilitat en l'espectre visible de humans i insectes. Dolsa y Albarrán (1998)

Altres animals es mouen per sistemes de "visió" molt diferents o fins i tot desconeguts. Per exemple els rat-penats es mouen a través de senyals de radio que emeten com un radar i es creen una imatge tridimensional de l'espai. Són cecs des del punt de vista de com els éssers humans entenem la llum; les serps sembla ser que tenen sistemes sensorials d'infraroigs i altres rèptils visió tetracròmica (tenen 4

tipus de cons de visió). La visió nocturna és més sensible a colors freds i zones de la franja dels blaus, o ultraviolats, i al diürna colors més càlids o vermellosos.

REPERCUSSIONS SOBRE ELS ÉSSERS VIUS

Quins efectes pot tenir la modificació dels ecosistemes naturals pels éssers vius que en ells habiten? Com en tot tipus de contaminació o variació dels seus components o interrelacions, pot ser: Des d'una situació clarament perniciosa, modificació de conducta que fa disminuir la possibilitat de supervivència (per dificultat a desenvolupar les seves activitats d'alimentació, mobilitat, reproducció...), predació, etc. Les repercussions directes sobre les poblacions són les típiques de qualsevol element contaminant: fragmentació de les poblacions per elements barrera i que creen illes de colònies, disminució de les colònies per la dificultat de la seva activitat i augment de les necessitats energètiques, indesitjable fase selectiva que pot generar l'afavoriment d'unes espècies (que treuen profit de la presència de la llum) vers altres (que es veuen).

El coneixement i estudi de la problemàtica és relativament recent. Del 22 al 24 de Setembre de 2003, es va portar a terme el Simposi "Ecology of the Night" a Dorset, Ontario. Al mateix, es va determinar la necessitat de prendre les mesures que fossin necessàries per preservar el medi nocturn natural, a més, també es va parlar sobre l'interès de diversos biòlegs al voltant de l'estudi de la relació de la contaminació lluminosa sobre la biodiversitat ja que hi percebien un greu desequilibri. Es va batejar el nom de la ciència "Scotobiology" com la ciència d'estudi dels éssers vius que tenen activitat nocturna.



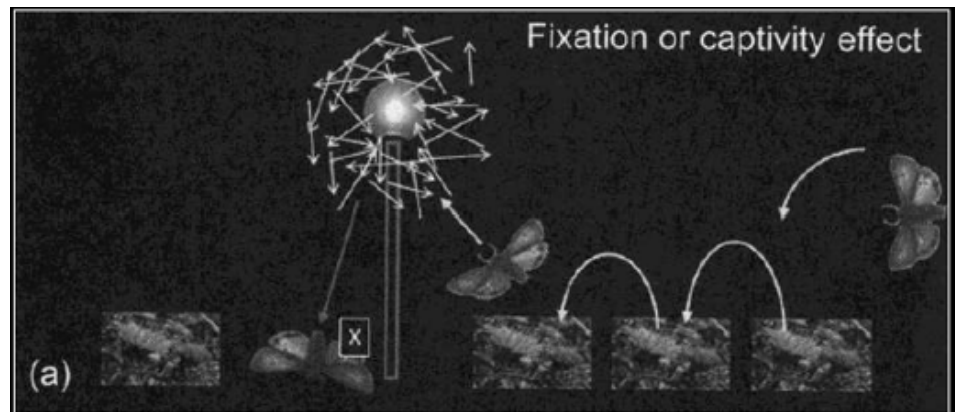
Imatge de la campanya per a donar a conèixer l'escotobiologia

El desenvolupament d'aquest apartat enuncia els efectes més importants, sobretot relacionant-los amb variables d'il·luminació que puguin ser mesurades i de referència per avaluar l'Impacte Ambiental Lumínic. L'estudi d'aquest camp científic és encara incipient, i s'estan produint aportacions significatives any rere any. Segons una de les conclusions de la última reunió de la Red Española de Estudios de Contaminación Lumínica (Montsec, novembre 2014), és imprescindible el coneixement de les repercussions de la llum sobre els ecosistemes naturals i com mesurar-los per poder determinar la importància de la problemàtica i donar-la a conèixer.

A continuació es presenten els efectes més importants coneguts fins ara relacionats amb els valors luminotècnics, i es proporciona informació expandida de la bibliografia de consulta recomanada a l'Annex A. Bibliografia sobre repercussions a ecosistemes i éssers vius.

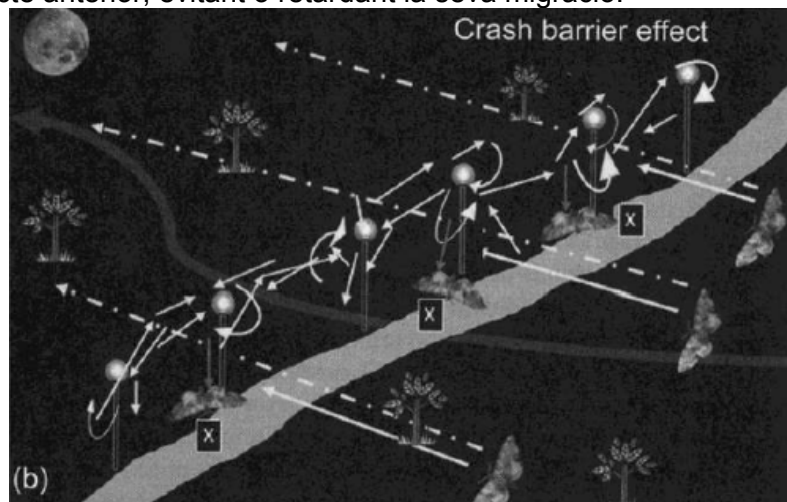
- **Efectes sobre les plantes:** L'augment de la llum a etapes nocturnes, ocasiona un increment
 - Sortida prematura de les fulles
 - Pèrdua tardana de les fulles
 - Modificació a l'eficiència de la fotosíntesi
 - Extensió els períodes de creixement
 - Ineficàç pol·linització per la disminució dels pol·linitzadors nocturns (arnes que són especialment sensibles a la llum i ratpenats)

- **Efectes sobre els insectes:** És la font més important de biomassa i proteïnes dels ecosistemes naturals terrestres. Són el número d'espècies més important, i són la base de la cadena tròfica. Són d'activitat bàsicament nocturna.
 - Efectes de fixació o captació: Els insectes en desplaçar-se es veuen captivats per la llum, pel punt brillant. Poden morir en impactar o per pèrdua energètica i cansament. Altres simplement queden immobilitzats quedant-se fixats davant la llum.



Efecte fixació o captivitat. Font: "Ecological Consequences of Artificial Night Lighting". ISLANDPRESS (2006)

- Efecte barrera: També davant de punts brillants o alta luminància, els insectes en els seus moviments de llarga distància es veuen obstaculitzats per la "barrera de llums", i es veuen atrapats per ella per l'efecte anterior, evitant o retardant la seva migració.



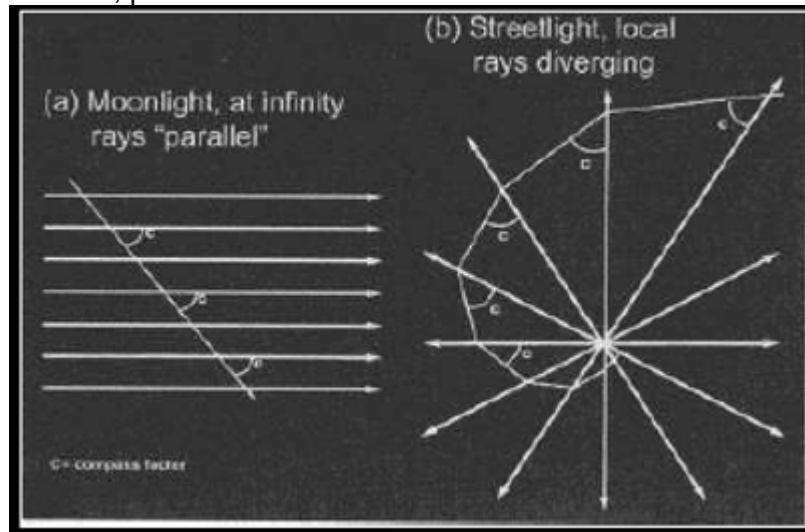
Efecte barrera. Font: "Ecological Consequences of Artificial Night Lighting". ISLANDPRESS (2006)

- Pèrdua de visió. Una exposició a llum intensa, pot fer perdre la capacitat visual a l'insecte durant un llarg període de temps (30 min) , per saturació dels receptors sensorials.
- Oviposició: Les femelles, que es veuen atretes per la llum, posen els ous a prop de la llum, no als seus llocs més adequats

- **Reproducció:** Depèn de les espècies, es pot suprimir l'emissió de feromones o dificultar l'activitat d'atracció per a l'aparellament.

S'ha documentat que la llum interfereix en els missatges reproductius entre cuques de llum de sexes diferents. El seu cicle ja es veu afectat per nivells superiors a 0,18 lx i clarament per valors superiors a 0,3 lx segons Bird, S., Parker J. (2014).

- **Navegació:** La arnes fan servir la llum de la Lluna per orientar-se i una font de llum de luminància superior (sovint a l'enllumenat), genera interferència, provocant desorientació de l'animal.



Pèrdua d'orientació per confusió de la llum amb altre element brillant. Font: "Ecological Consequences of Artificial Night Lighting". ISLANDPRESS (2006)

Aquest efecte de la Lluna, depèn de diferents factors: Les lluminàries a alçada tenen efectes més importants per relació amb l'astre; a nits de llum plena, l'atracció pot ser de 50 metres, que es veu ampliada a 400 metres en nits totalment fosques; tipus i potència de font de llum.

O inclús l'espectacular article de (Dacke, M 2013) (Dung Beetles Use the Milky Way for Orientation), en el que es mostra com els escarabats pilots fan servir la Vía Làctia per orientar-se cap al seu cau.

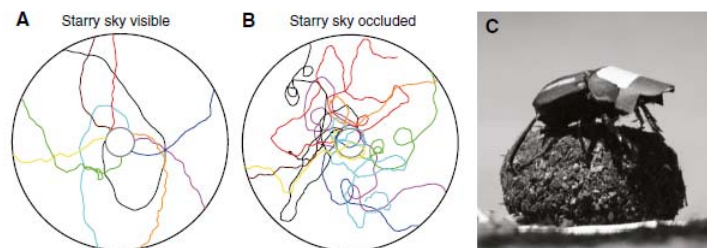
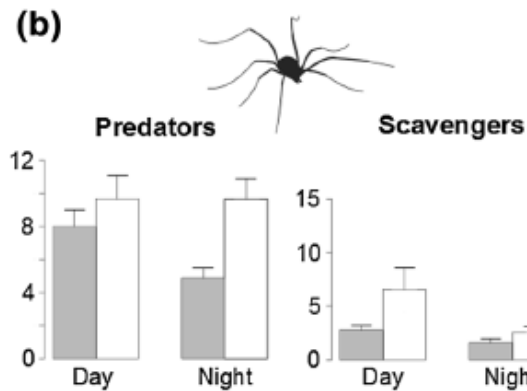


Figure 1. The Effect of Celestial Input on the Straight-Line Orientation of Dung Beetles
 Paths of the dung beetle *S. satyrus* rolling outward from the center of a circular arena (3 m diameter, black circle) under an unobstructed (A) or an occluded (B) view of a moonless starry sky. So that the view of the sky could be blocked, small "caps" were attached to the thorax of the beetle (C). The tracking of the beetle began once it had rolled out from an inner, 30 cm diameter circle (gray circle).

Imatge dels experiments realitzats durant l'article "Dung Beetles Use the Milky Way for Orientation"

- **Increment d'activitat al matí** per insectes diürns, com la *Drosophila melanogaster*, a partir de 0,03 lx

- Increment a la activitat d'insectes per facilitat de predació, que pot generar animals especialment grans o amb avantatja al sistema. Hi ha un estudi per exemple de grans aranyes : Lowe EC, W. S., Hochuli DF (2014).



Modificació de possibilitats predadores. (Gaston, J. et. a. (2014))

- **Efectes sobre vertebrats:** En general, la generalització d'efectes sempre és perillosa per la variabilitat d'espècies existents. Tot i això, de forma general es pot observar que en general les espècies migratòries es poden veure afectades perquè la llum artificial nocturna pot impedir la navegació creant excessiva pèrdua d'energia, impediments de moviment per determinats espais, i reducció de l'èxit de la migració, amb la conseqüent mortaldat associada.

En general, les espècies diürnes es veuen afavorides, doncs amplien el seu hàbitat natural de caça (temporal), en disposar de més temps-espai per fer-ho.

- **Efectes sobre amfibis:** Els amfibis són especialment vulnerables als efectes de la contaminació lumínica. Tenen una pell altament permeable i sensible a la llum i l'escalfor. S'està estudiant si la contaminació lumínica podria ser una de les causes importants de la ràpida regressió d'aquestes espècies.

A mode d'exemple, i segons estudis realitzats:

- Reproducció: S'ha determinat que la crida entre mascle i femella de granota verda també es veuen modificades per una llum intermitent que les il·lumina. Els resultats són que el nombre de croades disminueix un 44 % amb la llum intermitent i el nombre de moviments fet per individus augmenta un 625 %. (Baker and Richardson 2006).
- Retard en el creixement: En un estudi de H. Savage, K. Bingel, B. Buchanan, i S. Wise van sotmetre a capgrossos d'una varietat de granota Africana *Xenopus laevis* a uns cicles intercalats de 12 hores de claredat i foscor. Durant l'experiment es va crear diversos grups sotmesos a diferents nivell d'il·luminació durant els cicles de nit. Així es va sotmetre a nivells de 0,0001 lux (nit fosca), 0,01 lux (nit de lluna clara) i 100 lux (habitació ben il·luminada). Es va demostrar que els capgrossos amb nivells més baixos d'il·luminància presentaven més individus que havien realitzat la metamorfosi que en els altres. Es va

demostrar, que fins i tot els cicles lunars i la variació del nivell lumínic de la nit que provoca retarda la metamorfosis. Així doncs, endarrereixen el seu desenvolupament fent que siguin més vulnerables i tinguin més riscos d'acabar morts.

- Variació a comportaments de caça: Es va realitzar un experiment amb gripaus on establia àrees de control fosques en un entorn enllumenat. Donada la metamorfosi d'aquesta espècie (de forma simultània) es va observar que durant la seva migració massiva, els gripaus s'aturaven sota àrees il·luminades per presentar una major densitat d'insectes. Aquest fet pot provocar el seu atropellament i els fa més vulnerables a les condicions de l'entorn tal i com va demostrar Maxerolle. L'article a consultar es: "Studying The Ecological Impacts of Light pollution on wildlife: Amphibians Models. Departament of Biology, Urtica College, Urtica, NY U.S.A. ""

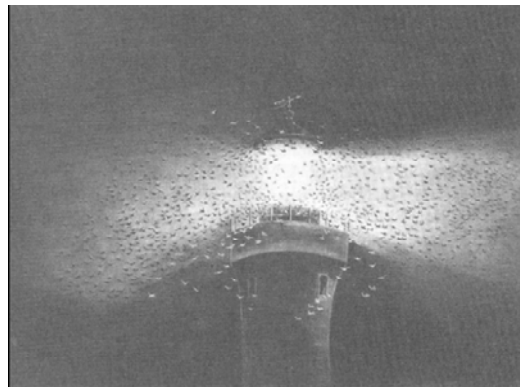
- **Efectes sobre aus:** Les aus nocturnes adapten els seus cicles en dia i any en gran número d'activitats:

A mode d'exemple, i segons estudis realitzats:

- Efecte barrera o desorientació en la migració: 100 milions d'aus moren a l'any a EE.UU. i Canadà per impactes en edificis o torres il·luminades. Fins al punt en què Nova York en l'etapa de migració de les aus s'apaga la il·luminació ornamental d'alguns gratacels.



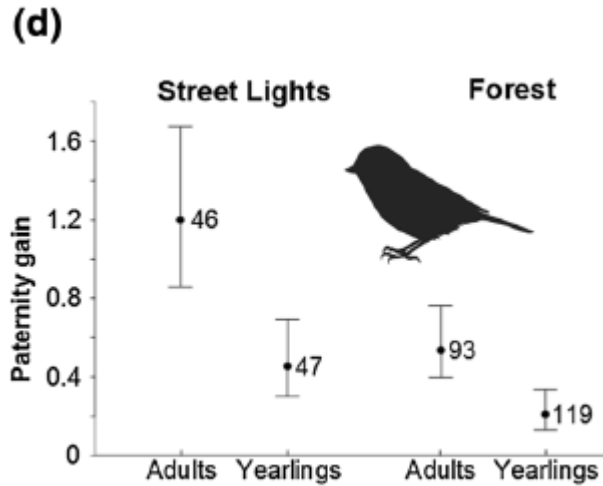
Recompte d'aus a Toronto.



Efectes de fars a la migració d'aus(Montevicchi, 2006).

També els ocells que s'orienten per les estrelles es veuen afectats en aquest cas per la brillantor del cel que les oculta en les zones properes a les grans ciutats. Provocant novament desorientació.

- Efecte barrera i desorientació : per exemple a la tornada dels pollets del niu a l'hàbitat natural. La baldriga (*Pardela cenicienta*), a les nits d'octubre i novembre, abandonen els nius de les coves, esquerdes etc., per començar a la seva activitat a les aigües marines. En les baixades de les aus cap al mar, es provoquen enlluernaments. Només a l'illa de Tenerife es produeix l'enlluernament de 800 espècimens l'any.
- Els períodes de recollida de farratge augmenten, i es continuen fent durant la nit sota il·luminació artificial. (*Falco naumanni*, *Fulica atra*...)
- Dificultat d'ocultació de les aus predadores: Aus predadores que s'oculten en la foscor, presenten dificultats a poder estar amagades quan hi ha llum. Per exemple les òlibes, i mussols caçen en nivells lumínics de gran foscor. Nivells lumínics > 0.01 lx ja presenten una alteració del seu medi i han de poder amagar-se a zones de cobertura forestal, en els habitatges, o similars.
- Increment del cant dels ocells matiner sota llum artificial, a la nit. Per tant augment de la seva activitat en fases que no hauria de ser en situacions d'enllumenat artificial. Per exemple, el *Erithacus rubecula* (pit-roig europeu), normalment comença a cantar una mica abans de la sortida del Sol, o el *Turdus merula*. Es fa a nivells lumínics baixos, per exemple pel *Turdus migratorius* ja ocorre a una mitja de 1,26 lx, però pot començar a ocorre a 0,05 lx.
- Increment a la possibilitat de caça, per a *Charadrius hiaticula*, *Charadrius alexandrinus*, *Pluvialis squatarola*, *Calidris alpina*, *Tringa totanus* per exemple, a partir de una nivell lumínic superior a 0,74 lx.
- Alimentació de fills durant la nit per la llum de finestres, donant la sensació que es etapa diurna (*Erithacus rubecula*, pit-roig europeu)
- Variació en el període reproductiu: Segons estudis de Davide Dominoni ("Artificial light at night advances avian reproductive physiology"), s'avança 1 mes l'etapa reproductiva del *Turdus merula*. Aquest factor, però no afavoreix en general a l'espècimen, doncs desequilibra la seva fisiologia i economia d'energies al llarg de l'any així com l'ecosistema en general. Es demostra que amb nivells lumínics d'enllumenat artificial (dintre de les ciutats), els ocells tenen un comportament diferent degut a la variació dels seus cicles circadianis creats per la llum rebuda. Inclús a nivells lumínics de resplendor lluminós (0,3 lx) . Domini, D. M. (2013)

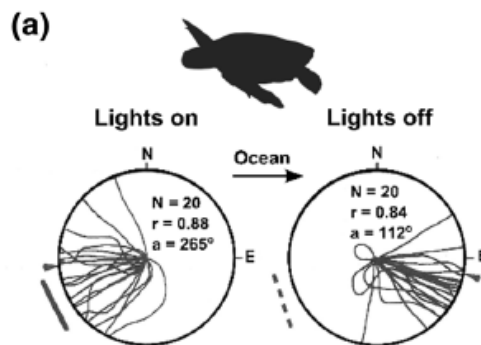


Modificació de possibilitats reproductores. (Gaston, J. et. a. (2014))

- **Efectes sobre rèptils:** Els rèptils també tenen activitat nocturna, en funció de la població (serps, sargantanes...). En funció de cada espècie poden tenir unes o unes altres afectacions.

A mode d'exemple, i segons estudis realitzats:

- Els processos de reproducció poden veure's afectats. Hi ha espècies, que utilitzen la foscor, per protegir-se dels depredadors en les etapes més vulnerables. Per exemple, en el cas de les cries de la *Caretta Caretta*, tota la llum, afecta als espècimens que acaben de sortir de l'ou. Aquestes s'orienten per la llum reflectida sobre el mar (ja sigui de les estrelles o la Lluna) i lleus brillants o nivells lumínics en sentit contrari (com els passeigs marítims, hotels...) fa perdre la direcció correcta als nounats, fent-los morir exhaust o més exposats a depredadors.



Modificació del camí que segueixen els nounats un cop han nascut. (Gaston, J. et. a. (2014))

- Reducció de l'activitat nocturna: Per al *Crotalus Viridis* a partir de nivells lumínics superiors a 1 lx
- **Efectes sobre peixos:** Els peixos són sensibles a la llum. De fet és una tècnica molt utilitzada per pescadors a mode de sistema d'atracció d'aquests animals. Es fa servir de forma molt generalitzada a l'indústria pesquera.

A mode d'exemple, i segons estudis realitzats:

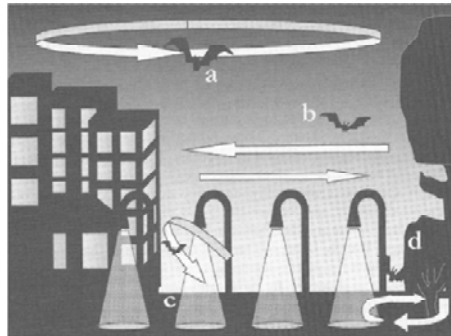
- Atracció sobre el Mukene. Aquest és un peix petit i platejat que es veu atret per la llum, un mètode molt emprat per la pesca que pot posar en perill individus immadurs de l'espècie.
 - Modificació a la reproducció: La llum dins de l'aigua incrementa la profunditat i densitat de peixos en gàbies de producció. Aquesta influència fa que es postergui la seva maduració sexual incrementant el seu creixement.
 - Detecció de presses. El salmó pot veure afavorida la seva activitat (en detriment d'altres espècies) amb nivells lumínics entre 0.01-5 lx.
 - Repulsió: Granges de Halibut o flétans. Aquests, a més de mostrar actituds de repulsió i modificar la seva conducta, es veuen afectats físicament per la radiació ultraviolada (lesions a la pell, etc.).
 - Modificació de l'hàbitat nocturn aquàtic: L'aigua té una influència molt important que es denomina migració vertical a l'aigua (viatge de petits crustacis i zooplàncton a capes superiors a la nit i a baixes durant el dia). Amb nivells lumínics inferiors a 0,1 lx ja es veuen afectats i modifiquen el medi. També per rius a estudis realitzats a diferents éssers vius (Perkin, E. K., Hölker, F., Tockner, K. and Richardson, J. S. (2014))
 - Alteració de temps de migració: Pel *Salmo salar* i per nivells lumínics de 14 lx.
- **Efectes sobre mamífers: Cicles circadianis.** Molts tenen comportament nocturn, sobretot caçadors. És per això que la pèrdua de la foscor els pot alterar el seu entorn d'activitat alimentària.

A més els mamífers ens regim per un cicle hormonal denominat cicle circadiani, que modifica la nostra activitat en funció de si és dia o nit. Aquest comportament i les hormones d'activitat (cortisol o similar) i recuperació o descans (melatonina o similar), està totalment supeditat als cicles de llum – foscor, i alteracions dèbils poden alterar també a la fisiologia i comportament de les espècies, amb les conseqüents alteracions de ecosistema.

A mode d'exemple, i segons estudis realitzats:

- Afavoriment de caçadors per l'atracció d'espècimens a la llum: Els efectes sobre ratpenats és molt variable. Les espècies poden ser mes o menys sensibles als efectes de la llum, o inclús indiferents. Alguns fugen, un altres es veuen afectats degut a que el seu sistema de caça es basa en la nocturnitat per a no ser vistos. I uns altres es veuen afavorits. Per exemple, el petit *Pipistrellus pipistrellus* és una espècie molt petita que vola relativament ràpid amb molts canvis de direcció, i ha après que els insectes es veuen atrets per les fonts de llum, de forma que s'alimenta a

prop dels fanals, on hi ha abundància d'aliment. Això origina una alteració de l'ecosistema en favor d'aquesta espècie que pot incrementar la seva població, evidentment, en detriment d'altres. Ocorre per nivells d'enllumenat artificial nocturn: 20-30 lx.



Comportament de ratpenats (Rydell, 2006).

- Pèrdua de zones de caça per espècimens nocturns: Tot i que no pot considerar-se un efecte com a tal, la sensibilitat d'alguns mamífers a la foscor és molt important i el seu coneixement ens pot dir què pot passar en el cas de perdre les situacions de foscor. Per exemple els lleons són depredadors nocturns, i busquen la lluna nova o com a molt amb un 40% de superfície per poder desenvolupar la seva ocultació davant la pressa. Amb lluna plena cacen molt menys. Això vol dir que intenten caçar amb nivells lumínics inferiors a 0.15 lx. (extret de l'article: "Fear of Darkness. The Full Moon and the Nocturnal").
- Dificultats per alimentar-se petites espècies: Estudis han donat a conèixer la dificultat de petits ratolins de platja d'alimentar-se en zones lleument il·luminades, degut a la seva exposició a depredadors.
- Alteració de cicles circadianis: A ratolins ja s'ha detectat per a nivells > 0.01 lux.
- Reducció d'activitat nocturna: Per exemple en ratolins, pel *Phyllotis xanthopygus*, a nivells lumínics superiors a 1.5 lx. Això vol dir, menys possibilitats d'alimentació. Li ocorre a diverses espècies de ratolins nocturns.

De forma i a mode de resum d'aquest apartat: Es pot observar, que aquesta branca de la biologia, la fa molt poc batejada: **Escotobiologia**, és de gran desconeixement. Actualment s'estan fent nombrosos estudis, i les repercussions a la biodiversitat i ecosistemes nocturns es pot veure clarament afectada per:

- Elements d'alta luminància de punts brillants (projectors, enllumenat ornamental, lluminàries de FHSi elevat): Per efecte barrera o atracció
- Nivells lumínics a ciutats o rodalies més properes: Augment dels nivells lumínics a llindars que poden fer arribar a variar la concentració hormonal de determinades aus, o mamífers.
- Nivells lumínics a fora de les ciutats, inclús a zones molt allunyades degut a la brillantor de cel que fa d'emissor de llum residual. Els nivells de llum intrusa assolits es poden comparar amb la lluna plena. I aquests nivells inclús més baixos, són suficients per alterar comportaments de caça, reproducció, etc.
- Etc.

A més el fet de que la visió d'altres éssers vius pugui ser a la nit diferent a la nostra, fa que siguin especialment sensibles a llums en component blava. Inclús en poca component blava, **si la llum es blanca, pot tenir una interferència molt important el medi. Inclús independentment de la temperatura de color**, sinó més aviat si té component blava o no (és a dir, si és visible o no visible pels éssers vius que es comporten per instint davant d'ella): Pawsonl, S. M., Bader M. K.-F. (2014). "LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature." *Ecological Applications* 24(7): 1561-1568.

Una bona recopilació d'afectacions, nivells llindars i anàlisi de diferents espècies es troba en l'article:

Gaston., K. (2013). "The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal." *Biological Reviews* **88**: 16.

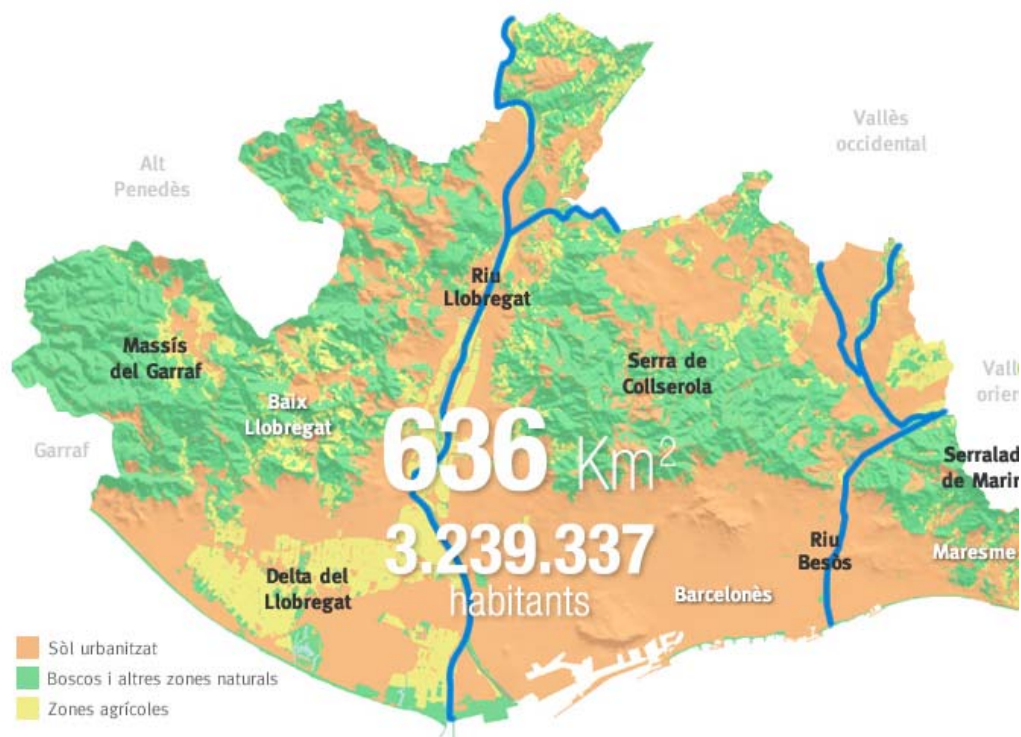
D'on s'han extret molts dels nivells citats en aquest apartat.

3. ESTUDI DEL FOCUS CONTAMINANT

3.1. Zona d'estudi: Àrea Metropolitana de Barcelona

L'abast geogràfic de l'encàrrec està descrit al punt 1.3 i és per definició l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

Es pot veure en el següent gràfic la distribució i els espais geogràfics més representatius:



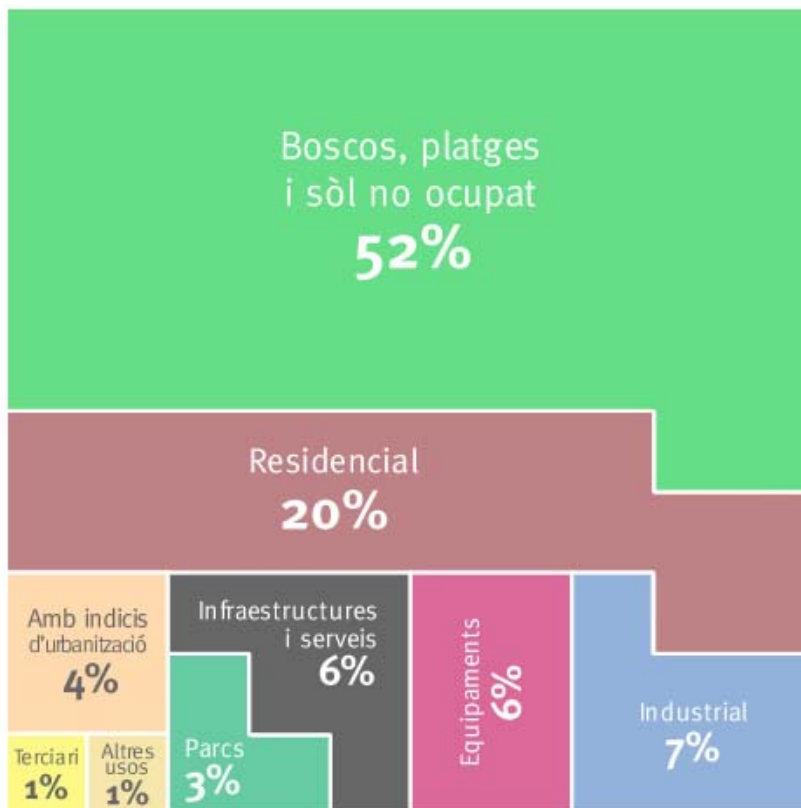
Abast geogràfic de l'AMB. Font: <http://www.amb.cat>

Es pot determinar, també a la informació disponible de la zona:



Concentració de població a l'AMB. Font: <http://www.amb.cat>

L'ocupació del sòl està totalment orientada a l'altíssima producció i concentració de serveis, centres de població i administratius:



Usos del sòl de l'AMB. Font: <http://www.amb.cat>

De forma que en una zona molt petita de Catalunya concentra una gran part de la població. On hi ha els municipis més importants del país, amb altíssimes taxes de densitat d'ocupació degut les barreres físiques o administratives: Com passa amb Barcelona que no pot desenvolupar-se en espai horitzontal degut a la Serra de Collserola i el Mar, o L'Hospitalet de Llobregat pels límits administratius amb els municipis de costat.

3.2. Principal focus contaminant: L'Enllumenat Públic

Segons alguns estudis i càlculs realitzats, la major part del flux lumínic que va a la cúpula celest i forma part de la contaminació lumínica, és generat per l'enllumenat públic viari. És aquell enllumenat que dóna servei de pas i seguretat a la via pública (carrers, places, carreteres, etc.). En aquest treball s'ha delimitat i caracteritzat l'enllumenat públic segons el següent procés:

- Informació rebuda: Recerca d'informació a partir de fonts públiques: Informació de treballs anteriors de la UPC, Cercles d'Enllumenat de DIBA, informació de concursos de manteniment d'enllumenat, etc. I també enquestes enviades als municipis o concessionàries d'autopistes demanant informació directa al gestor.
- Estimació a través de models matemàtics en funció del número d'habitants i tipologia de superfície urbanitzada.

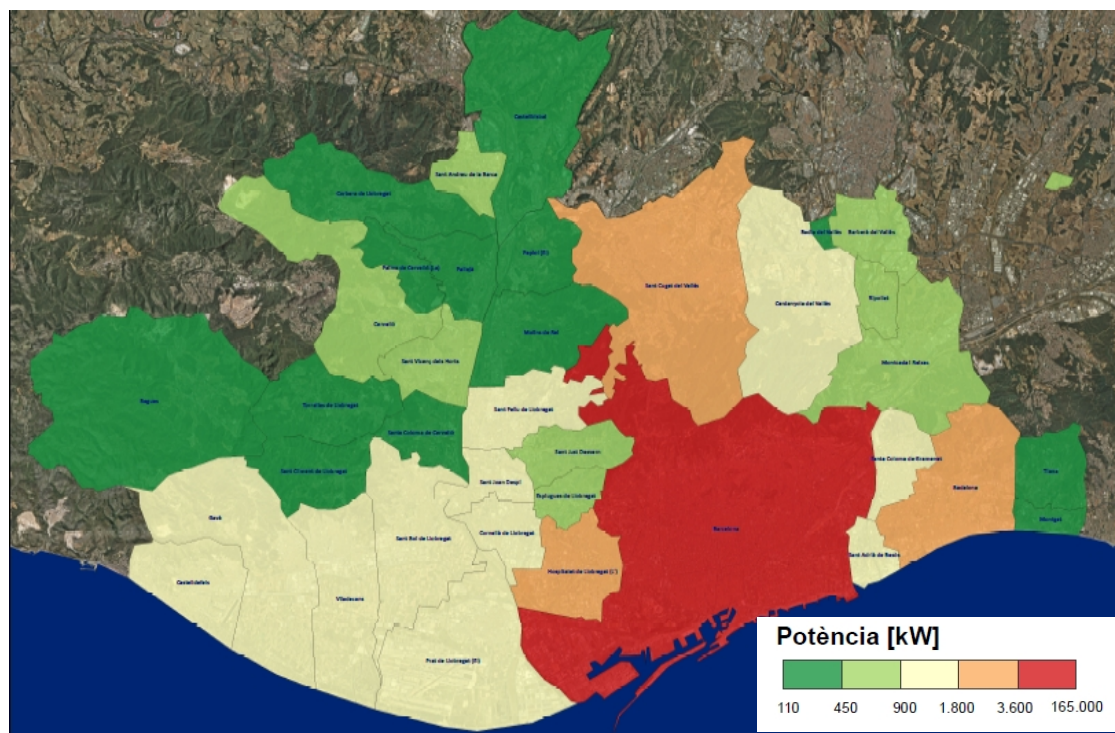
La informació utilitzada ha tingut la següent procedència:

	% municipis	% població	% superfície urbanitzada
Informació rebuda	75,0 %	91,8 %	80,2 %
Estimació matemàtica	25,0 %	8,2 %	19,8 %

Com a dades generals es poden resumir a nivell municipal en:

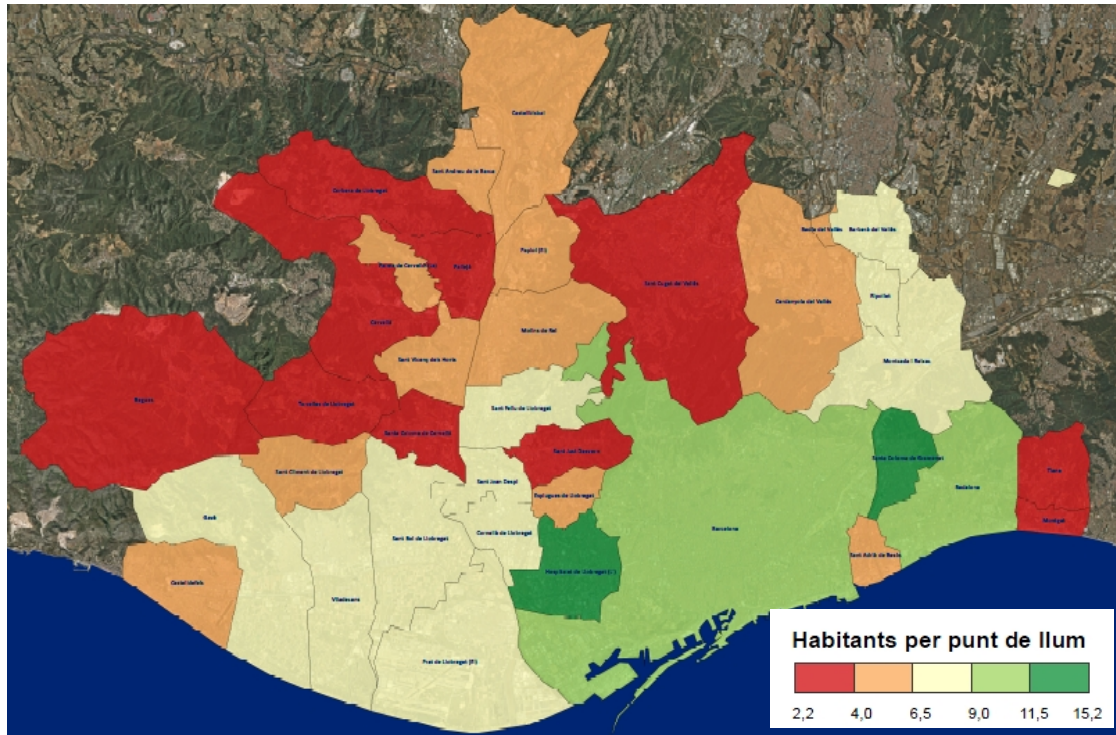
Municipi	Làmpades	Potència instal·lada [kW]	%Pot/total	Pot/punt llum[W/p.ll.]	Hab. / punt de llum
Badalona	23.468	3.447	7,1%	147	9,4
Badia del Vallès	2.194	306	0,6%	140	6,2
Barberà del Vallès	4.895	588	1,2%	120	6,6
Barcelona	143.461	18.650	38,4%	130	11,3
Begues	2.949	246	0,5%	83	2,2
Castellbisbal	3.016	395	0,8%	131	4,1
Castelldefels	10.018	1.198	2,5%	120	6,3
Cerdanyola del Vallès	13.587	1.743	3,6%	128	4,3
Cervelló	3.064	456	0,9%	149	2,8
Corbera de Llobregat	4.661	328	0,7%	70	3,1
Cornellà de Llobregat	12.040	1.412	2,9%	117	7,3
Esplugues de Llobregat	9.911	843	1,7%	85	4,7
Gavà	5.253	921	1,9%	175	8,9
Hospitalet de Llobregat (L')	16.930	2.424	5,0%	143	15,2
Molins de Rei	4.420	432	0,9%	98	5,6
Montcada i Reixac	4.606	566	1,2%	123	7,5
Montgat	2.906	349	0,7%	120	3,7
Pallejà	3.107	356	0,7%	115	3,6
Palma de Cervelló (La)	717	116	0,2%	162	4,2
Papiol (El)	970	143	0,3%	148	4,1
Prat de Llobregat (El)	9.540	982	2,0%	103	6,6
Ripollet	4.250	578	1,2%	136	8,8
Sant Adrià de Besòs	7.345	1.060	2,2%	144	4,7
Sant Andreu de la Barca	5.276	703	1,4%	133	5,2
Sant Boi de Llobregat	10.667	1.562	3,2%	146	7,8
Sant Climent de Llobregat	655	111	0,2%	169	6,0
Sant Cugat del Vallès	26.717	2.801	5,8%	105	3,2
Sant Feliu de Llobregat	6.526	1.060	2,2%	162	6,7
Sant Joan Despí	4.835	1.009	2,1%	209	6,8
Sant Just Desvern	4.242	474	1,0%	112	3,7
Sant Vicenç dels Horts	4.396	574	1,2%	130	6,4
Santa Coloma de Cervelló	2.467	297	0,6%	120	3,2
Santa Coloma de Gramenet	7.973	977	2,0%	123	15,1
Tiana	2.470	255	0,5%	103	3,3
Torrelles de Llobregat	2.010	195	0,4%	97	2,9
Viladecans	10.002	983	2,0%	98	6,5
Total	381.544	48.540			
Promig				127,6	6,1

A continuació es presenten una sèrie de plànols il·lustratius. Aquests, es poden consultar en major detall a l'annex de *H. Planimetria vària*:



Distribució de potència instal·lada en enllumenat públic a l'AMB. Font: Elaboració pròpia

A la figura anterior es presenta una representació de la potència instal·lada total en enllumenat públic a cada municipi segons les dades obtingudes. La potència va molt lligada a la població superfície urbanitzada. En aquest cas també queda reflectit amb una important concentració a Barcelona i els municipis més propers, i baixa potència als municipis més allunyats (Begues, Tiana, etc.).



Distribució del rati habitants/punt de llum en enllumenat públic a l'AMB. Font: Elaboració pròpia

El rati d'habitants per punt de llum dóna idea de l'eficiència del servei d'enllumenat. És un paràmetre molt lligat a les polítiques urbanístiques, i en municipis de baixa densitat de població el rati també es baix (baixa edificació, cases aïllades) En municipis d'urbanització consolidada, edificis alts, i alta edificació, s'aconsegueix un rati més elevat, i per tant una potencial major eficiència del servei /habitant.

Al mapa anterior es pot veure on en municipis tradicionalment amb més densitat d'urbanització (com es el cas d'Hospitalet de Llobregat) tenen els ratis més elevats, i els que disposen de gran superfície amb urbanitzacions o cases unifamiliars tenen ratis baixos de servei (Begues, Tiana...).

Si ens fixem en l'anàlisi i la situació respecte al total de Catalunya:

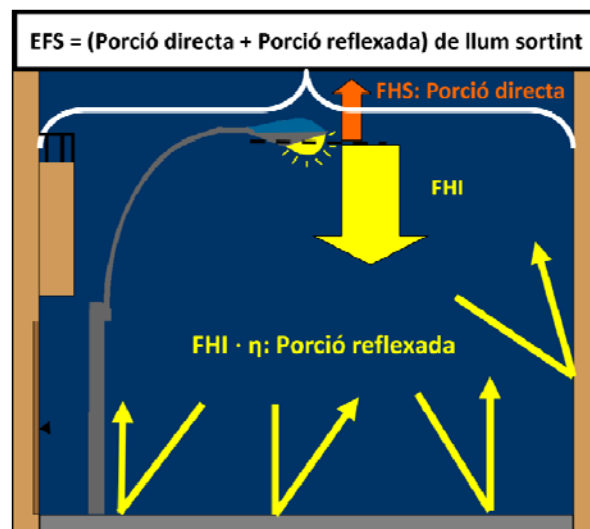
L'AMB té un 27% dels punts de llum que hi ha a Catalunya i un 24% de la potència en un 2% de la superfície i donant servei lumínic al 42,8% de la població.

Si fem l'anàlisi específic de la contaminació lumínica generada per l'enllumenat públic: Aquesta no es pot dimensionar exclusivament per la dimensió de l'enllumenat, sinó que afecten altres paràmetres a tenir en compte:

- Tipologia de lluminàries.
- Urbanisme: Alçada de les façanes i amplada dels carrers.
- Acabats o reflectància de les façanes.

L'Emissió de Flux Superior (EFS): És el flux lumínic que emet una instal·lació cap a cel en lúmens. L'EFS té en compte diversos paràmetres com són:

- Llum emesa directament per les lluminàries cap al cel (fracció del FHS_i sortint).
- El flux reflectit pel terra o altres elements on hi hagi incidència de llum artificial.
- La disposició i geometria de la zona il·luminada, que poden condicionar la quantitat real de flux que escapa cap al cel.



Amb aquest indicador es poden buscar mitjans perquè les instal·lacions d'enllumenat dirigeixin la llum allà on és útil amb els nivells reglamentaris i minimitzar l'afectació sobre el resplendor nocturn de la cúpula celeste provocada per les instal·lacions d'enllumenat així com sobre els éssers vius.

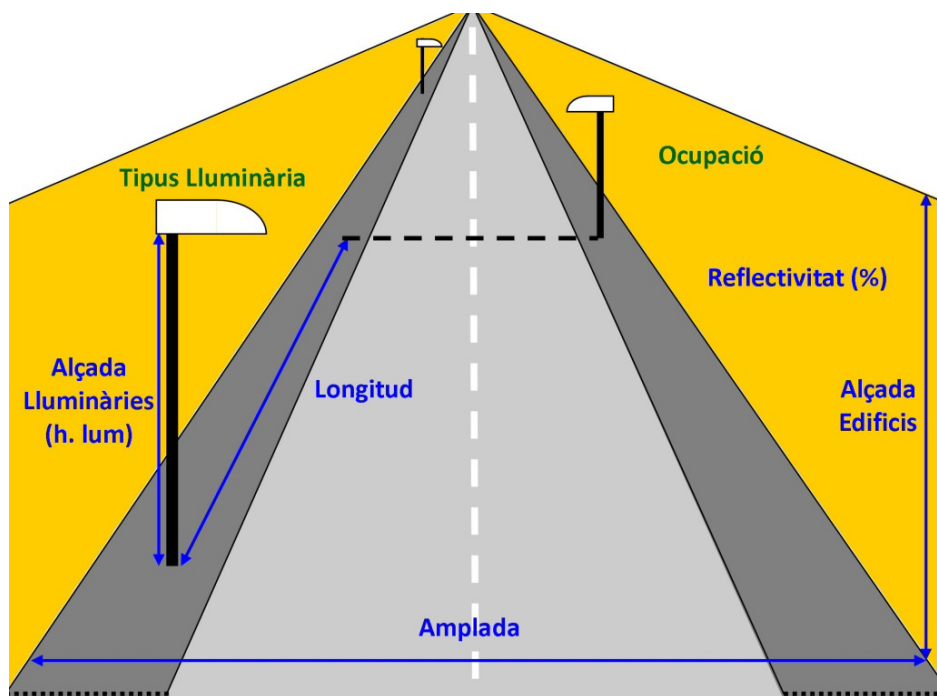
Per tal de determinar l'Emissió de Flux Superior dels municipis de l'Àrea Metropolitana de Barcelona s'ha disposat de dades reals o d'una predicció estadística de la Potència en kW instal·lades a cada municipi. Per tal de determinar la proporció de la mateixa que s'escapa cap al cel (%EFS) i contribueix de forma directa a la contaminació lumínica, s'ha comptat amb un estudi estadístic en base a simulacions informàtiques que modelitza el comportament de la llum segons les

característiques dels carrers. Aquest mètode es basa en la metodologia RAMAL-UPC d'estudi de la llum emesa cap al cel que modelitza les condicions més habituals dels carrers realitzant simulacions amb software de càlcul.



Modelització informàtica de carrers per determinar la llum que escapa al cel

Amb aquesta metodologia, s'ha processat i relacionat més de 100 simulacions establint una relació entre el flux sortint de cada instal·lació i les característiques de la via més rellevants.



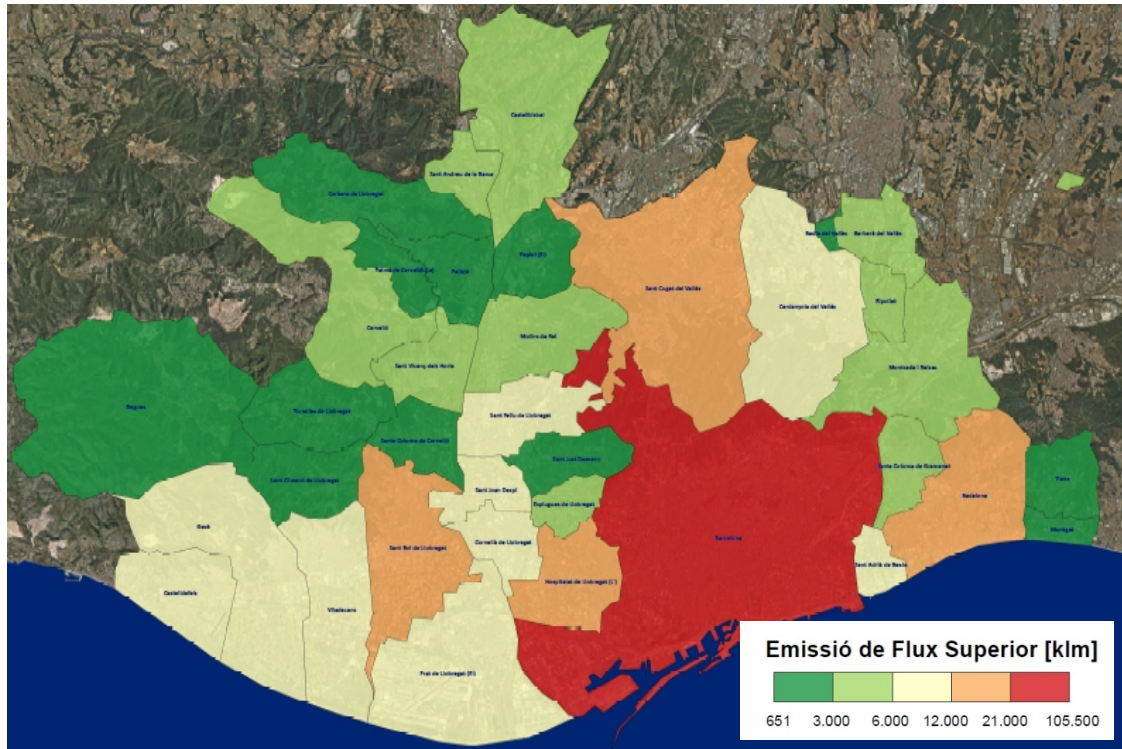
Esquematzació del model d'un carrer

Amb el model s'obtenen valors que aproximen l'EFS d'una tipologia de carrer determinada i urbanisme determinat. L'estudi d'urbanisme s'ha realitzat segons les dades del MUC, respecte a la suma de totes les superfícies considerades.

És important considerar que els valors obtinguts són estimatius i cal emprar-los per tal d'observar tendències generals.

Els valors obtinguts són els següents:

Municipi	EFS [klm]	% EFS / EFS _{total AMB}
Badalona	19.961	6,4%
Badia del Vallès	1.451	0,5%
Barberà del Vallès	5.280	1,7%
Barcelona	105.454	33,7%
Begues	1.762	0,6%
Castellbisbal	4.605	1,5%
Castelldefels	8.406	2,7%
Cerdanyola del Vallès	9.562	3,1%
Cervelló	3.276	1,0%
Corbera de Llobregat	2.353	0,8%
Cornellà de Llobregat	9.903	3,2%
Esplugues de Llobregat	5.165	1,7%
Gavà	7.381	2,4%
Hospitalet de Llobregat (L')	17.229	5,5%
Molins de Rei	3.616	1,2%
Montcada i Reixac	5.022	1,6%
Montgat	2.693	0,9%
Pallejà	2.094	0,7%
Palma de Cervelló (La)	651	0,2%
Papiol (El)	999	0,3%
Prat de Llobregat (El)	7.431	2,4%
Ripollet	4.269	1,4%
Sant Adrià de Besòs	10.198	3,3%
Sant Andreu de la Barca	5.435	1,7%
Sant Boi de Llobregat	12.697	4,1%
Sant Climent de Llobregat	725	0,2%
Sant Cugat del Vallès	15.716	5,0%
Sant Feliu de Llobregat	7.267	2,3%
Sant Joan Despí	7.347	2,4%
Sant Just Desvern	2.672	0,9%
Sant Vicenç dels Horts	4.190	1,3%
Santa Coloma de Cervelló	1.589	0,5%
Santa Coloma de Gramenet	5.202	1,7%
Tiana	1.313	0,4%
Torrelles de Llobregat	1.398	0,4%
Viladecans	8.232	2,6%
TOTAL	312.544	100,0%



Representació de la magnitud contaminant cap al cel dels municipis de l'AMB

3.3. Visió per satèl·lit

La visió d'imatge per satèl·lit de la zona es fa servir per:

- Detectar densitats d'instal·lacions d'enllumenat en grans superfícies.
- Crear models matemàtics que aproximïn contaminació lumínica en grans espais (com els Atlas de P. Cinzano).

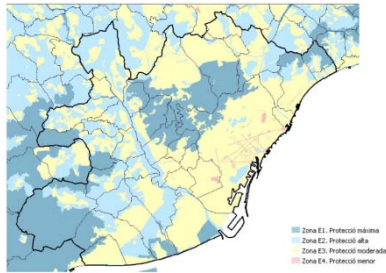
A partir del treball realitzat per Barcelona Regional al 2013 ("*Contaminació Iluminosa a l'AMB*") i comentat als antecedents, obtenim les següents dades:



Imatge il·lustrativa de la visió per satèl·lit

A la imatge anterior es poden veure les zones de major intensitat lumínica i també les zones de llum blanca / llum groga. Es pot detectar per exemple els municipis de El Prat de Llobregat i Cornellà de Llobregat, així com el barri gòtic de Barcelona que han apostat per una política de llum blanca.

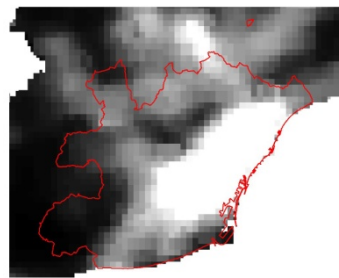
Dins del treball es fa un creuament de zones lumíniques urbanes i de protecció vers la contaminació lumínica de la Generalitat de Catalunya, per extreure resultats de zones sensibles que es poden veure afectades per la instal·lacions de infraestructures lumíniques:



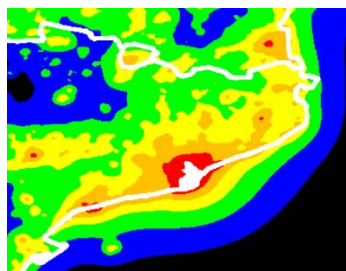
Mapa Cont. Lumínica



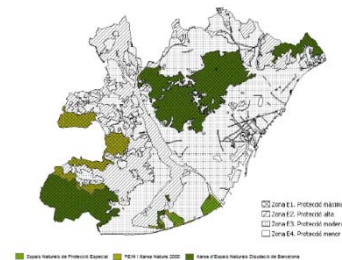
Mapa de radiància



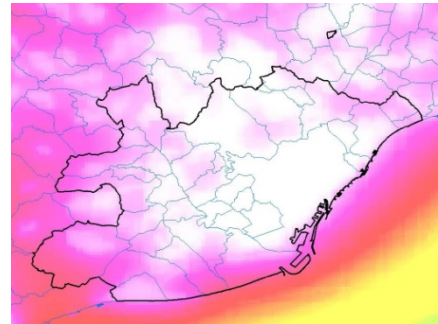
Mapa de radiància calibrat



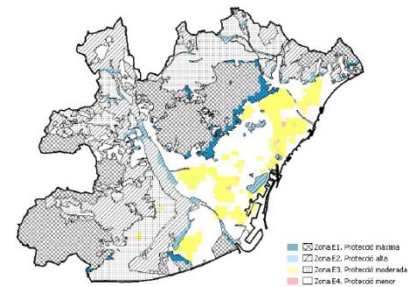
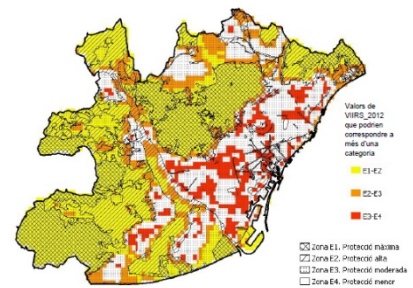
Model matemàtic (Cinzano et al. 2001)



Espais naturals de l'AMB



Mapa de visibilitat d'estrelles.
"indicatiu"



Zones de fricció

A partir del creuament de totes les dades obtingudes, i de la observació de models matemàtics, es poden determinar que les zones més interessants per l'estudi d'enfocament particular són:

- Parc Natural de Collserola.
- Espais Naturals del Delta del Llobregat.

Són els espais naturals que subsisteixen i que tenen la influència i les repercussions més greus a l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

3.4. Anàlisi del color de la llum. L'espectre d'emissió

A través de la imatge per satèl·lit, però també a través de les enquestes municipals, s'ha pogut detectar que en general el tipus de font lumínica instal·lada és vapor de sodi a alta pressió. Aquesta làmpada de tipus convencional té un espectre d'emissió principalment en els tons groguencs i vermellorsos, i poc en els blavosos, per tant té una dispersió atmosfèrica reduïda.

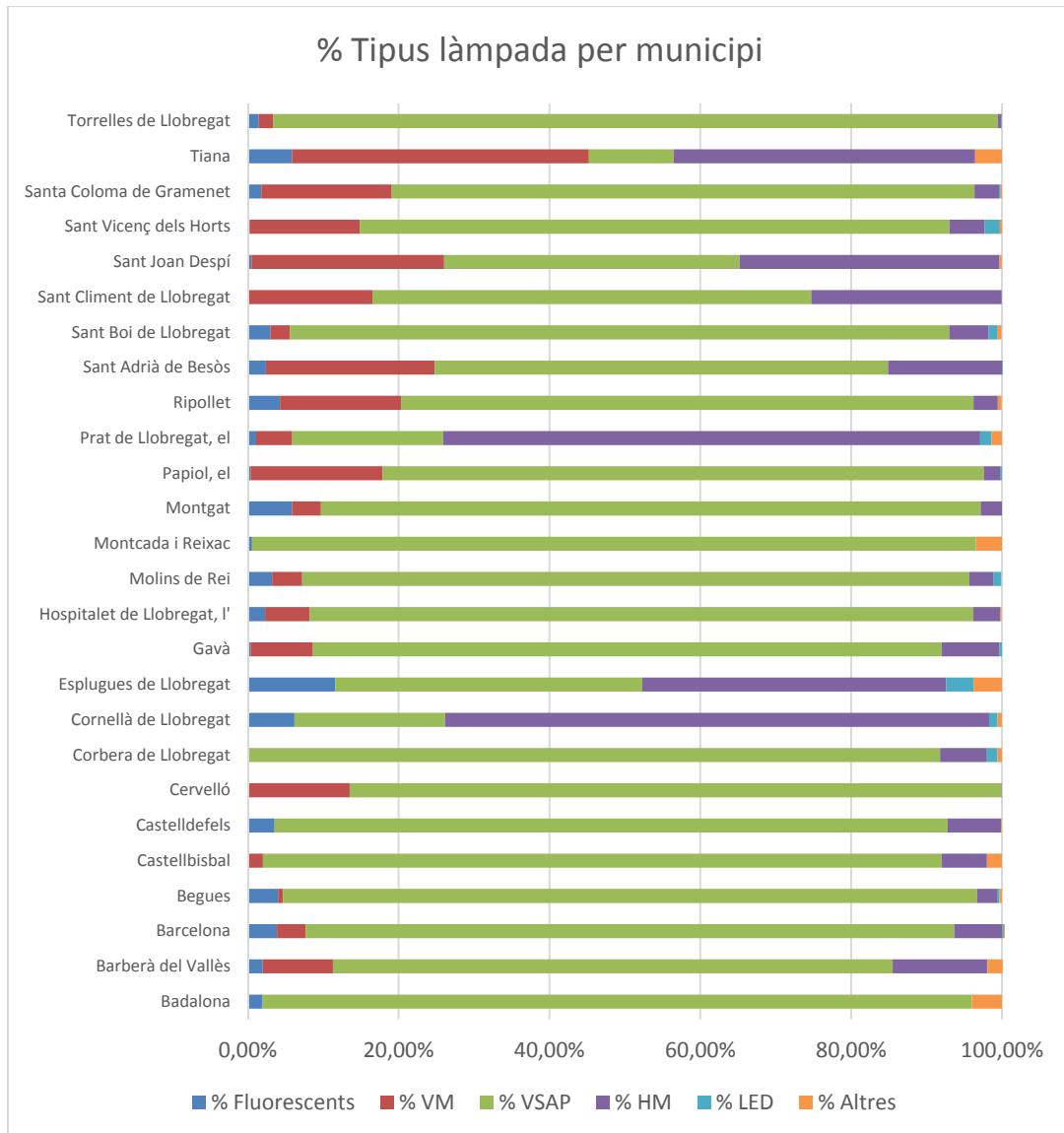
Es pot detectar a través de la visió per satèl·lit l'enllumenat bàsicament provinent dels municipis de Esplugues, El Prat de Llobregat i Tiana, amb unes característiques de color blanc. Aquesta inspecció visual es pot determinar també a partir de l'anàlisi de les característiques de les làmpades instal·lades.

Si considerem quines tecnologies proporcionen uns espectres o uns altres obtenim:

Sobre les dades facilitades:	Total làmpades	% làmpades segons color de la llum
Total làmpades llum blanca	69.205	22%
Total làmpades llum groga	247.506	78%

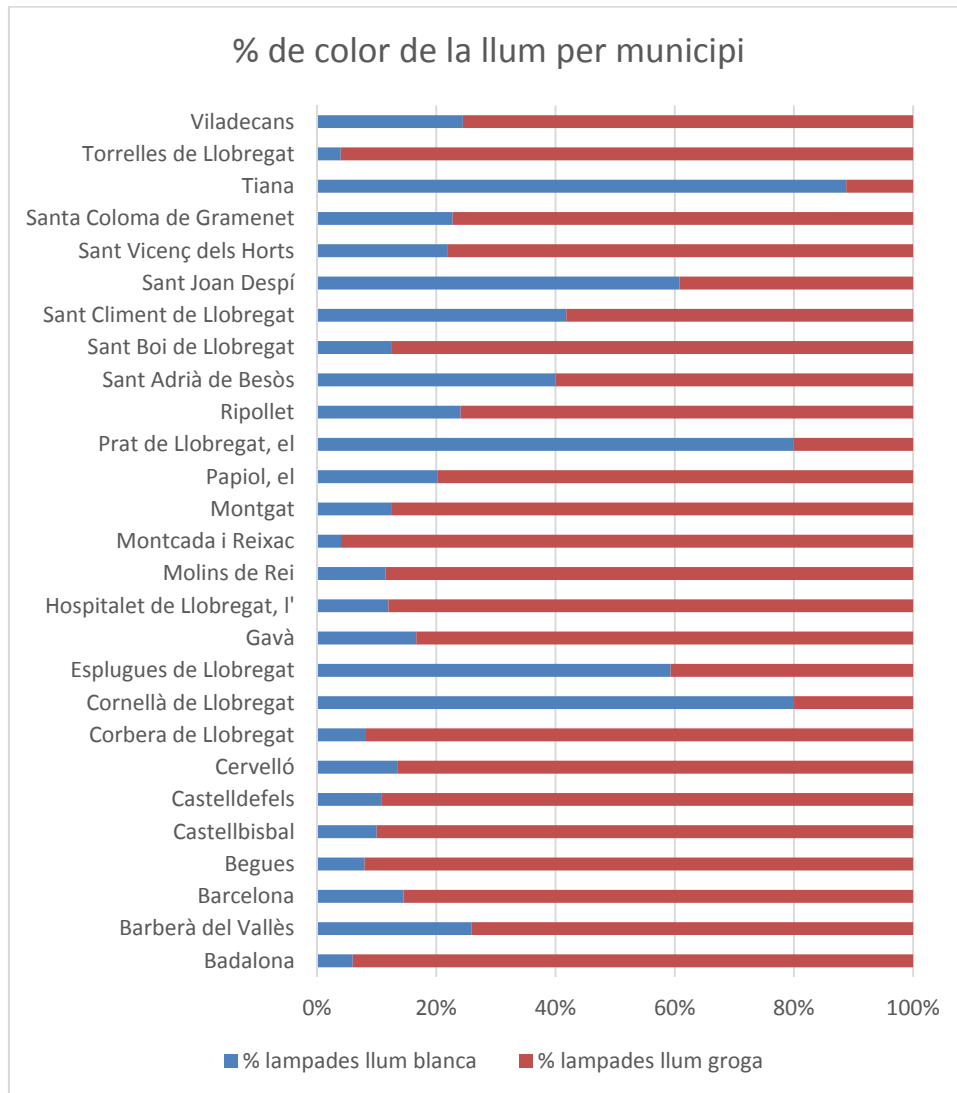
Tot i ser unes xifres molt semblants i coherents amb els estudis obtinguts per la Generalitat de Catalunya, els resultats són molt heterogenis per municipis.

I tal com s'ha pogut veure a la visió per satèl·lit veiem, en distribució municipal:



Distribució de percentatge de tipus de làmpada segons municipi d'informació rebuda.

O el que és el mateix, traduït a tipologia de color de la llum:



Com s'ha comentat anteriorment, l'espectre d'emissió, i en concret la tecnologia que emet radiació en longituds d'ona curta (cap als blaus) i per tant existents a les fonts de llum blanca més que en les grogues, genera una contaminació lumínica superior. Actualment, degut a la tecnologia de sistemes d'enllumenat emergent (LED's o Halogenurs metàl·lics...), es preveu un increment d'aquest tipus de font de llum, encara minoritària a l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

Esplugues de Llobregat ahorra un 63% de energía con la renovación del alumbrado público



Philips

En un panorama de urbanización global (se estima que en 2020 dos de cada tres personas vivirá en grandes urbes) y de escasez de recursos naturales, las ciudades tienen por delante un gran reto, tanto en el diseño y la expansión, como en la gestión de las mismas. Los ciudadanos esperan de los gestores de las ciudades que realicen aquellas actuaciones necesarias enfocadas a mejorar la eficiencia energética de las instalaciones, al mismo tiempo que mejoren la calidad de vida de las personas.

En este sentido, Esplugues de Llobregat, municipio de más de 45.000 habitantes de la provincia de Barcelona, es una ciudad pionera en ahorro energético y en la apuesta por el led como fuente lumínica. Recientemente ha renovado el alumbrado de 23 de sus calles consiguiendo un ahorro energético del 63% mejorando, al mismo tiempo, la calidad de la iluminación. La situación de partida en estas vías consistía en más de 400 luminarias de descarga, con más de 25 años de antigüedad muchas de ellas, con potencias comprendidas entre los 150W y 400W. Esta anticuada instalación sobrepasaba en la mayoría de la calles los niveles de iluminación requeridos en el Reglamento de Eficiencia Energética en Alumbrado Exterior, derrochando por tanto luz y energía.

Noticia de noviembre de 2014. Font: luciscei.es

Notícies com aquesta són freqüents, i és la tendència actual sobre grans canvis d'enllumenat. La tecnologia lumínica, la LED també, té diferents usos i tipologia d'elements tècnics, que poden proporcionar una elevada qualitat lumínica amb una continguda contaminació lumínica.

4. DIAGNÒSTIC DE LA SITUACIÓ ACTUAL

4.1. Metodologia

Tradicionalment l'enfocament d'un estudi de contaminació lumínica s'ha fet amb una visió des de l'espai (al·ludint directament la pol·lució al que detecta el satèl·lit) o des del punt contaminant (el sòl), però observant només el cel. A continuació es presenta la metodologia aplicada, basant-se en els punts de vista de l'estudi:

AFECTACIÓ A L'ECOSISTEMA: En aquest cas la metodologia mostrada presenta: el diagnòstic de la situació actual basant-se en l'observació des d'on està l'hàbitat i ecosistema que pateix l'impacte (el sòl) i analitzant el fons de cel i la llum intrusa a una sèrie d'espais predeterminats.



Imatge model d'un espai analitzat. Espai Natural del Remolar. La diagnosi es fa del cel (a partir de la detecció de brillantor i zona de fricció dels espais propers a l'Aeroport de Barcelona) i dels nivells lumínics alterats a zones sensibles.

L'objectiu de les mesures realitzades no és aconseguir un escenari global de la situació de les instal·lacions contaminants, sinó caracteritzar i exemplificar casos sensibles i la repercussió real a l'ecosistema proper protegit, amb l'objectiu de poder promoure accions de protecció i mitigació posteriors en espais singulars.

Metodologia aplicada d'anàlisi d'ecosistema i hàbitat: S'han escollit una sèrie d'ubicacions on s'han realitzat les següents mesures i es fan les següents consideracions:

- Localització d'instal·lació a analitzar.
- Determinar la possibilitat d'apagar i encendre la instal·lació per veure la seva afectació particular a l'entorn.
- Determinar punts de mesura en funció de la seva accessibilitat i en funció de l'espai i l'ecosistema: Paral·lela a la instal·lació si és longitudinal o radial si la instal·lació és puntual.

- Realització de mesures:
 - Nivell lumínic a terra, horitzontal.



- Nivell lumínic a terra, vertical (a l'alçada de 20-30 cm) mirant cap al focus lluminós.

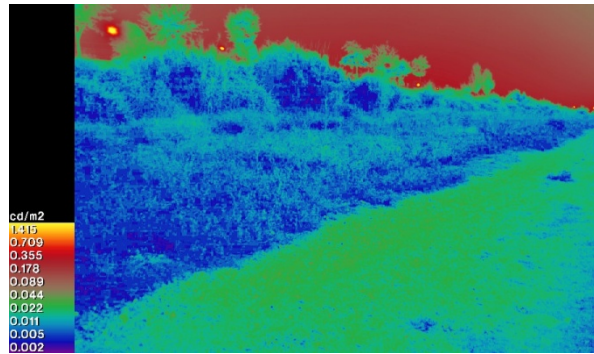


- Brillantor/Luminància cap al punt focus lluminós.



Mostres de les mesures del Parc Natural del Garraf i la Ronda de Dalt

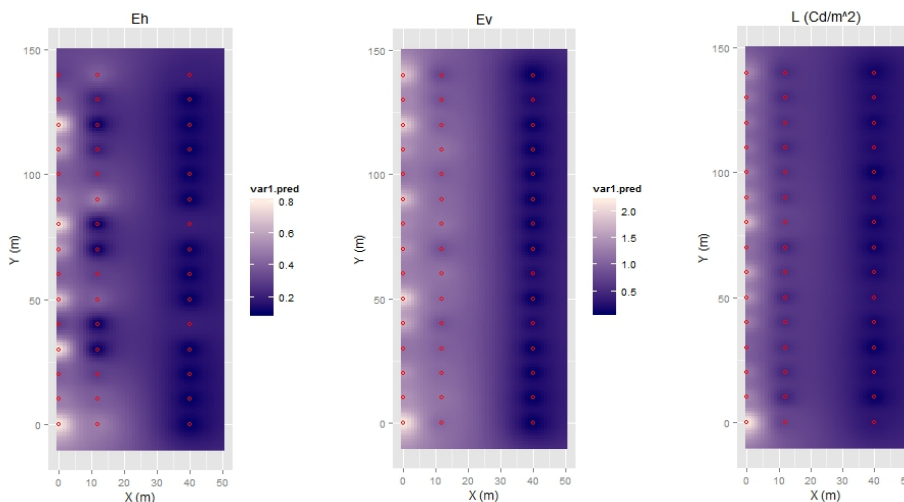
- Imatge 3D-luminància:
 - Imatge HDR tractada informàticament per determinar l'afectació al focus lluminós, on es pot analitzar la luminància de cada superfície. En un entorn o ecosistema, els valors han de ser molt propers a 0 cd/m^2 .



Tractament d'imatge digital a la llera del riu Llobregat

Tractament de les dades i representació

- Representació de les dades:
 - Taules.
 - Informació isolínies.
 - Anàlisi respecte a l'afectació a l'ecosistema en general.



Representació de les tres variables mesurades en format gràfic amb color (nivell lumínic horitzontal, vertical i luminància a zona natural)

Allà on sigui possible per les singularitats de l'espai, es presentaran mapes dels valors mesurats. Per exemple: En la representació anterior, el primer gràfic mostra el nivell lumínic horitzontal fins a 20 metres de la mesura, és proper a 0,5 lx.

ESPAI TOTAL ANALITZAT I FONS DE CEL: S'ha realitzat una visió de conjunt de fons de cel de tota l'AMB amb una recollida de dades en tota la superfície i inspeccions puntuals allà on ha estat considerat interessant per: Realitzar mesures de qualitat superior de fons de cel, i mesures específiques d'impacte sobre l'espai natural.

Objectiu: Aconseguir una visió global de tota l'AMB amb mesures realitzades a fons de cel amb SQM tipus arrow e instal·lat a vehicle motoritzat. La qualitat serà l'estàndard per aquest tipus de mesura (una presa al zenit cada 15 segons) georeferenciades i qualitat superior en les mesures realitzades de forma puntual a ubicacions determinades:

Metodologia:

- A les mesures de qualitat estàndard:
 - Instal·lació d'un element registrador SQM-LU-DL a la part superior de un cotxe, sense tapa, i amb element de georeferència.
 - Tractament de les dades a despatx i representació a visualització de Sistema d'Informació Georeferenciada.
 - Posteriorment tractament de les dades per donar una malla APROXIMADA i ORIENTATIVA del fons de cel a tot el territori a partir de les dades obtingudes.

- A les mesures de qualitat superior (mitjançant ASTMON);



Mesures amb ASTMON a una zona propera al Tibidabo

VARIACIÓ TEMPORAL DEL FONTS DE CEL: S'ha analitzat l'afectació de la nuvolositat i sobretot de la variació en el temps en les lectures del nivell de fons de cel a zones naturals protegides durant un període de 5 a 14 dies i de forma continua amb un equip registrador.

Objectiu: Determinació de la variació de fons de cel a espais protegits escollits amb la intenció de determinar: afectació de núvols, lluna, i possibles variacions a l'enllumenat al llarg del dia i el calendari.

Metodologia: Es tria una ubicació on instal·lar el dispositiu, sense elements que puguin suposar un obstacle o interferència, i es deixa registrant amb la caixa d'estanquitat facilitada pel fabricant.



Exemple d'instal·lacions al Parc Natural de Collserola

Segons el fabricant, se li resta 0,11 a les mesures per la correcció amb el vidre del "housing" (<http://unihedron.com/projects/sqmhousing/housing.pdf>)

Amb aquesta metodologia s'obté:

- Una imatge de conjunt de tota l'AMB sobre les zones més i menys contaminades.
- L'afectació singular sobre espais naturals d'instal·lacions o infraestructures especial problemàtiques.
- L'evolució temporal de la qualitat del cel en relació a les variacions del flux lumínic emès de les diverses instal·lacions durant la nit.
- Dades de qualitat per analitzar la provenença més important del flux contaminant, així com per poder ésser replicades si fos necessari en un futur per comprovar l'evolució de la problemàtica al llarg dels anys.

Totes les mesures s'han realitzat amb el següent equipament:

Dintre dels hàbitats protegits a nivell de sòl:

- Luxímetre GOSSEN MANOLUX 5032-C.
- Luxímetre PRC KROCHMANN Radioluxx 111.
- Luminàncímetre GOSSEN MAVO-SPOT 2.

Fons de cel :

- ASTMON LITE. Per mesures astronòmiques de qualitat.
- Sky Quality Meter SQM-LU-DL (3 unitats). Per mesures estàndard.
- Sky Quality meter wide (1 unitat) Per mesures estàndard preliminars.

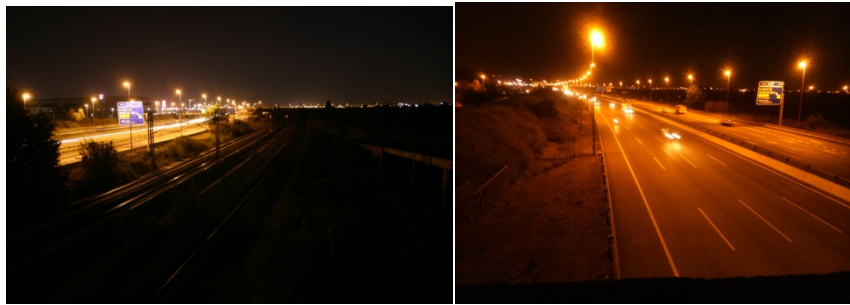
Com a quadre resum, tenim:

Tipus mesura	Mecanisme	Resultats	Objectiu
Mesures ecosistemes	Mesura de l'afectació de grans instal·lacions a zones sensibles	Nivells de llum intrusa a hàbitat natural i brillantor	Determinar l'afectació real d'instal·lacions singulars
Fons de cel a tota l'AMB	Recorregut en vehicle motoritzat per la xarxa de carreteres	Fons de cel en condicions òptimes	Obtenir una imatge general de la problemàtica i contrastar amb estudis anteriors, per focalitzar els tractaments.
Fons de cel a ubicacions singulars	Instal·lar un sensor en ubicacions determinades durant un període de temps	Evolució en el temps de la foscor de fons de cel al llarg d'uns dies	Determinar la foscor màxima disponible i possibles interferència temporals
Fons de cel amb ASTMOM	Anàlisi en 8 ubicacions diferents del fons de cel amb sensor CCD ASTMOM	Un mapa de luminàncies de la cúpula celest.	Determinar la brillantor dels focus contaminants i aportació de cadascun en funció de la brillantor de cada sector

4.2. Recollida de dades d'instal·lacions

La recollida de dades ha estat mitjançant la metodologia descrita anteriorment. Les instal·lacions escollides han estat:

1- Un tram de la Ronda de Dalt: Amb l'objectiu de veure l'afectació d'una instal·lació longitudinal.



2- Instal·lació de xarxa de comunicacions al Parc Natural del Garraf: Per veure l'afectació una gran zona contaminant singular i aïllada a una zona natural bastant fosca.



3- Espai Natural de El Remolar: Per veure l'afectació d'una gran instal·lació (Aeroport de Barcelona) sobre una zona sensible.



4- Parc d'atraccions de Tibidabo i Basílica del Sagrat Cor, en mesures puntuals en encesa i apagada. Veure afectació d'instal·lació en encesa i apagada.



La distribució de les mesures es poden veure en el següent mapa:



Ubicació geogràfica de cada mesura, segons numeració anterior

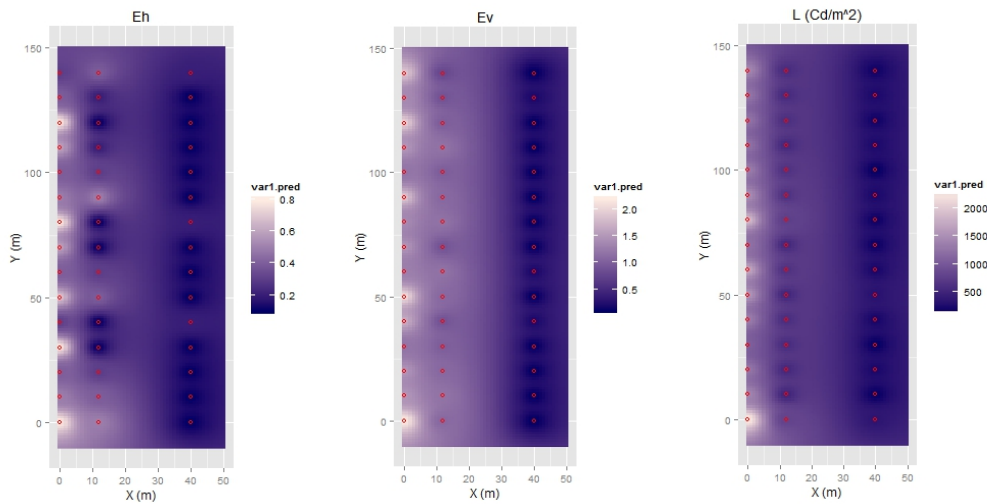
1. Autopista (GPS: 41.3482116 N, 2.0602853 E)
2. Antenes a PN Garraf (GPS: 41.292092 N, 1.910038 E)
3. Aiguamolls Remolar (GPS: 41.2822071 N, 2.0498551 E)
4. Tibidabo a PN Serra de Collserola (GPS: 41.3482116 N, 2.0602853 E)

Es recorda que l'objectiu d'aquest anàlisi és determinar el comportament i afectació d'aquesta tipologia d'instal·lacions típica d'una gran àrea metropolitana, no extrapolar resultats de caire global.

Els resultats obtinguts (que es poden consultar en detall a l'Annex D) ens venen a dir que l'afectació de les instal·lacions és limitada en l'espai, però important a les proximitats. Per tant, es crea una illa de gran nivell lumínic (gran per les necessitats de fosc natural de l'ecosistema), que interfereix a l'espai on incideix. Es pot veure per exemple els resultats a la Ronda de Dalt, on hi ha interferència de fins a 0,4 lux a 30 metres, valor que com es pot veure a l'apartat 2.3, pot representar una alteració de l'hàbitat d'alguns éssers vius nocturns.

A mode d'exemple, es mostren alguns valors:

Primer l'anàlisi d'una instal·lació de trànsit viari ("longitudinals") (autopista A-2), on s'han fet mesures, i es determina que hi ha afectació directa fins a uns 50-60 metres amb valors reduïts, però amb elevada luminància que pot fer efecte barrera, atracció... a les aus, insectes, etc.



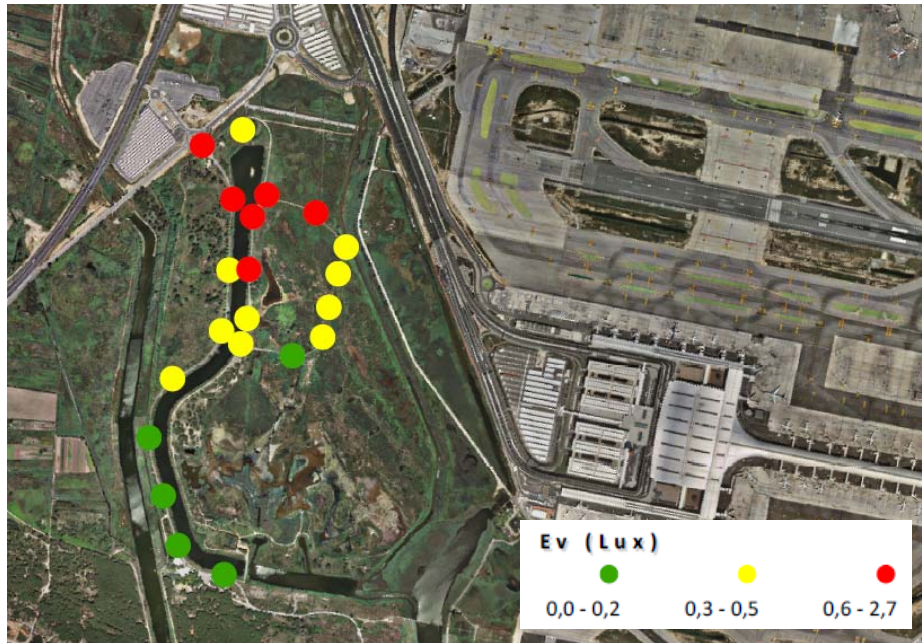
Representació de les tres variables mesurades en format gràfic amb color (nivell lumínic horitzontal, vertical i luminància a zona natural)

Sobre els anàlisi d'instal·lacions singulars i relativament "puntuals": A la instal·lació que hi ha a el P.N. del Garraf, on arriba fins a 1.3 lx a 50 metres de la zona il·luminada i es manté superior a 0,3 lx fins a 200 metres de distància.



Vista de la representació en plànol de la lluminància vertical mesurada a una de les 3 antenes il·luminades al P.N. Garraf

Per últims els valors a El Remolar. La zona protegida més propera a l'Aeroport del Prat:



Vista de la representació en plànol de la il·luminància vertical mesurada a El Remolar, a prop de l'Aeroport d' El Prat

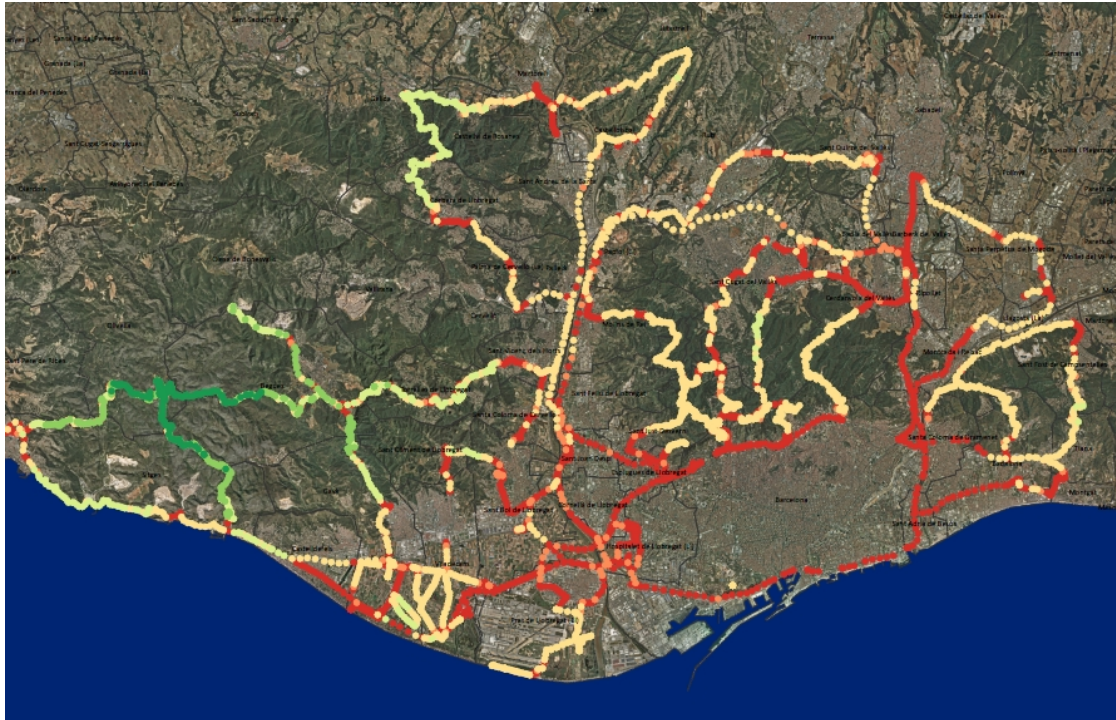
Les zones de valors més baixos són deguts principalment a la cobertura forestal, no a descens dels valors lumínics.

A instal·lacions molt singulars, com l'Aeroport del Prat crea un afectació important inclús a centenars de metres, com són els aiguamolls del Remolar, i altres zones dels Espais Naturals del Delta de Llobregat. Són espais que tot i la seva limitació per estar a curta distància de zones d'altíssima activitat humana, són els únics hàbitats possibles i recuperables a l'AMB. Especialment per aus hivernants o nidificants. A les mesures al Remolar, s'han trobat valors propers a 1 lux (3 vegades la llum de la lluna plena), a 600 metres del focus emissor de llum. Un valor molt elevat.

L'avaluació visual de les instal·lacions de l'aeroport reporten una afectació important, i una **no consideració de la llum intrusa** als entorns propers, que han ocasionat la situació.

4.3. Recollida en l'ESPAI de fons de cel

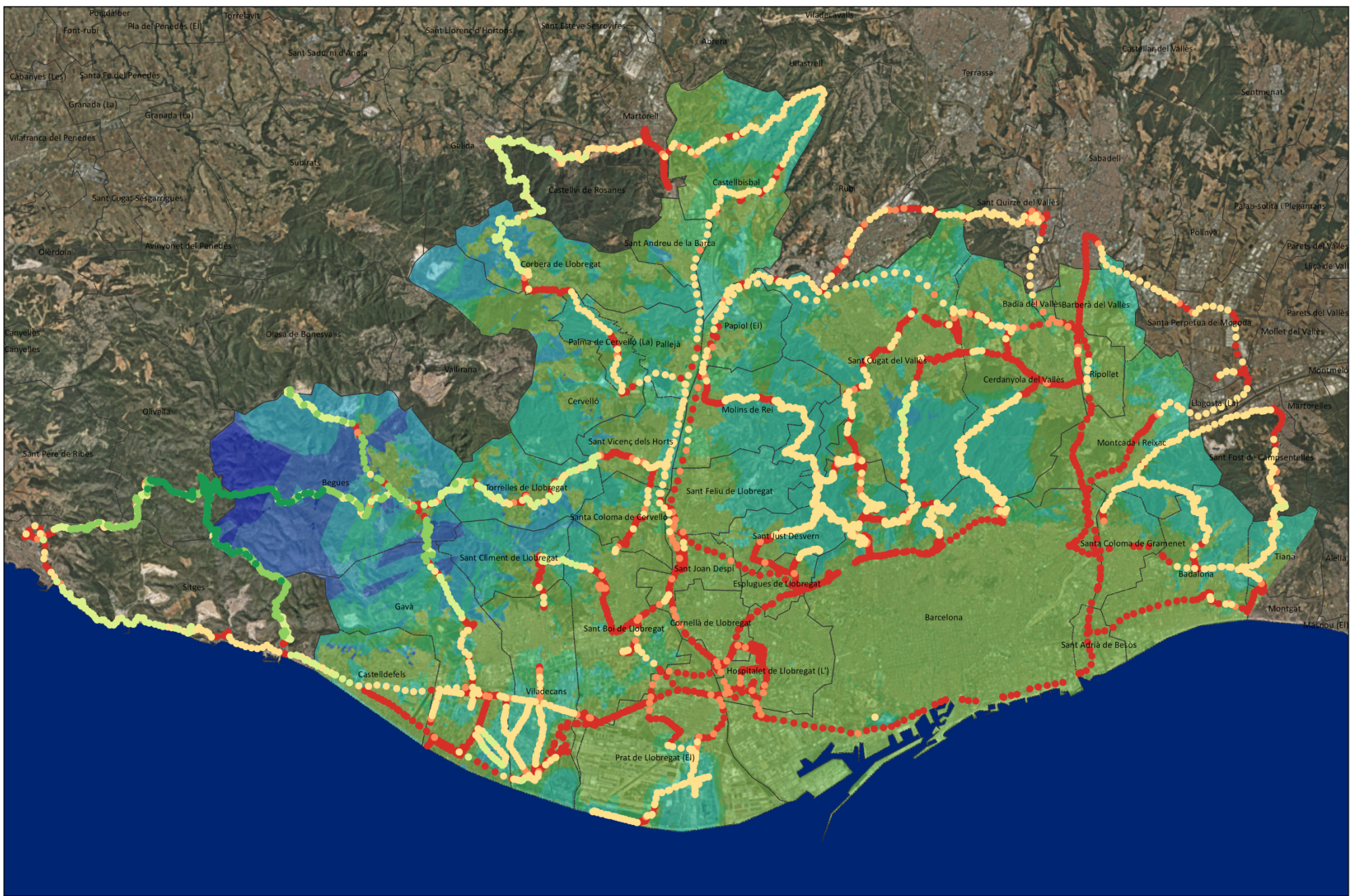
L'àmbit de recollida de la informació ha estat tota la AMB. Els recorreguts realitzats es poden veure en el següent mapa:



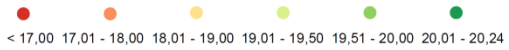
Recorreguts realitzats per tota l'Àrea Metropolitana de Barcelona

Que amb tractament georeferenciat, estimació matemàtica i mostrat per colors, es pot obtenir:

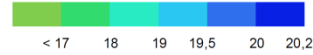
Nota: Tots els plànols mostrats en preliminar a la memòria, es poden consultar en detall, major qualitat i mida superior, a l'annex H. *Planimetria varia*



Punts de mesura [mag/Arc-s²]



Estimació [mag/Arc-s²]



Pla de Sostenibilitat de l'Àrea Metropolitana de Barcelona
 Mesures amb SQM
 Novembre 2014



Valoració general:

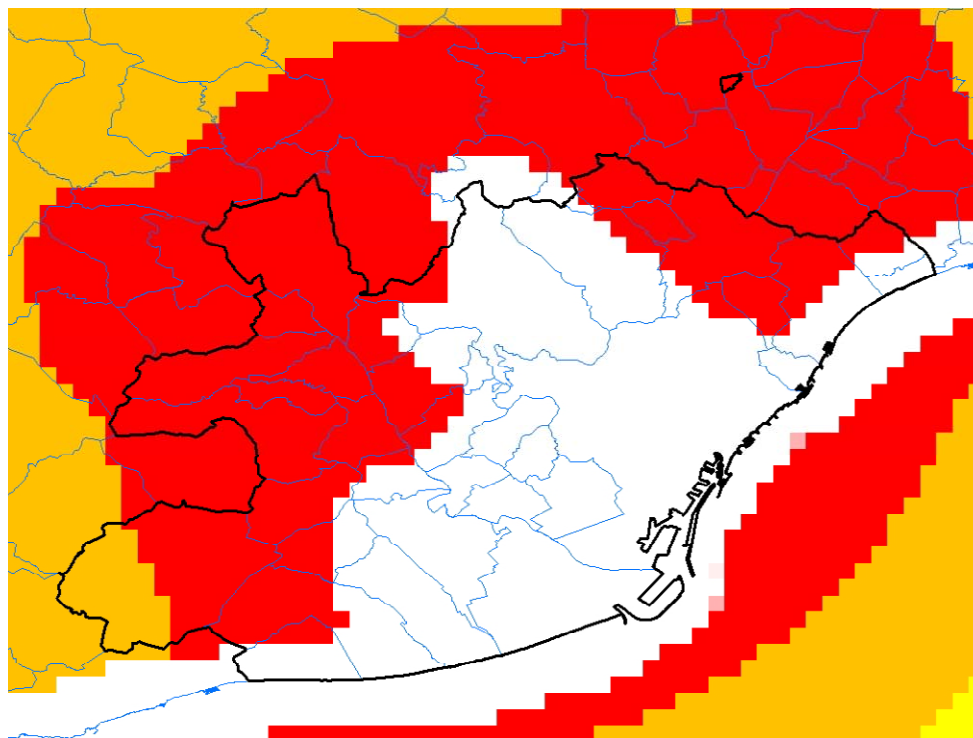
De la observació de la mesures de fons de cel realitzades, es determina que amb caràcter general, **les mesures de fons de cel són de qualitat reduïda**. Només a punts molt allunyats del centre de Barcelona, al Parc Natural del Garraf, s'arriben a valors superiors a 20 mag/arc·sec² amb regularitat. Aquest efecte es deu a la magnitud del focus contaminant (en una tercera part la ciutat de Barcelona), i fa que fins que no s'hagi arribat a grans distàncies del mateix, no s'aprecii un descens dels valors d'emissió de llum.

Destaquen els valors obtinguts als entorns naturals propers a Barcelona, com són Collserola o el Delta del Llobregat ja que tot i ser espais protegits, no es donen valors foscos de brillantor del cel. Aquest fet posa en relleu la gran afectació que tenen les instal·lacions del conjunt de les zones urbanitzades i la gran distribució del bel lluminós per tota l'AMB.

També es pot observar el ràpid descens des de les zones urbanitzades a les zones rurals adjacents, però que després no superen els valors de 19 mag/arcsec² fins a zones molt allunyades. És a dir, l'afectació dels focus més directes (ja siguin singulars de gran afectació, zones urbanitzades, etc.) es desfà en centenars de metres en molts casos, però hi ha **una contaminació de fons que cobreix pràcticament tota l'AMB** i fa impossible poder tenir un cel de qualitat a quasi cap racó.

Comparació amb altres mapes existents:

A continuació també s'ha realitzat una comparació entre els resultats obtinguts i el mapa de fons de cel inclòs en el projecte de Setembre de 2013: "Contaminació Lluminosa a la AMB" obtingut dins l'Atlas mundial de contaminació lluminosa realitzat per Cinzano et al. 2001. El mapa exposat és el següent:



Plànol de lluminositat artificial del cel a la AMB. Font: The first world atlas of the artificial night sky brightness.

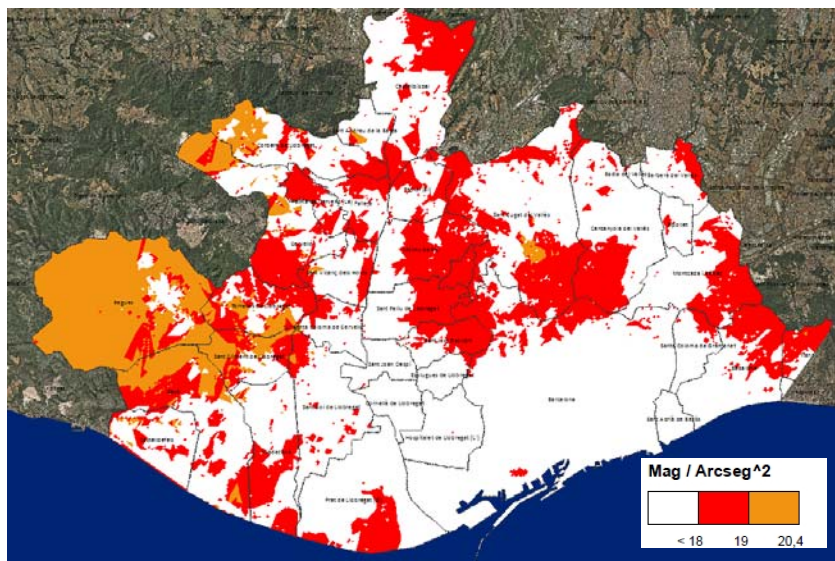
Amb el següent codi de colors:

	Lluminositat artificial nocturna del cel ($\mu\text{cd}/\text{m}^2$)	SQUIMS ($\text{mag}/\text{arcseg}^2$)	Ratio entre lluminositat del cel i lluminositat natural
Taronja	756 - 2.268	20,387 - 19,013	3 - 9
Vermell	2.268 - 6.804	19,013 - 18,001	9 - 27
Blanc	> 6.804	< 18,001	> 27

*** La lluminositat natural del cel depèn de la posició geogràfica, l'activitat solar, l'hora de posta de sol i l'àrea observada. Font: The first world atlas of the artificial night sky brightness (Cinzano et al, 2001).**

En primer lloc, cal tenir en compte que Cinzano en el seu projecte d'atles nocturn va realitzar una feina de predicció i que, per tant, era previsible determinar diferències amb les mesures reals. Per altra banda, es fa palès que els càlculs de Cinzano presenten una bona aproximació de la situació real sense tenir en compte les singularitats de cada indret presentant un ordre de magnitud que segueix la tendència dels resultats d'aquest estudi en grans territoris.

Per tal de contrastar els resultats, s'ha donat el mateix escalat i codi de colors a la estimació realitzada en aquest projecte per tal d'observar les tendències divergents amb l'estudi de Cinzano, aquesta representació es pot veure a continuació:



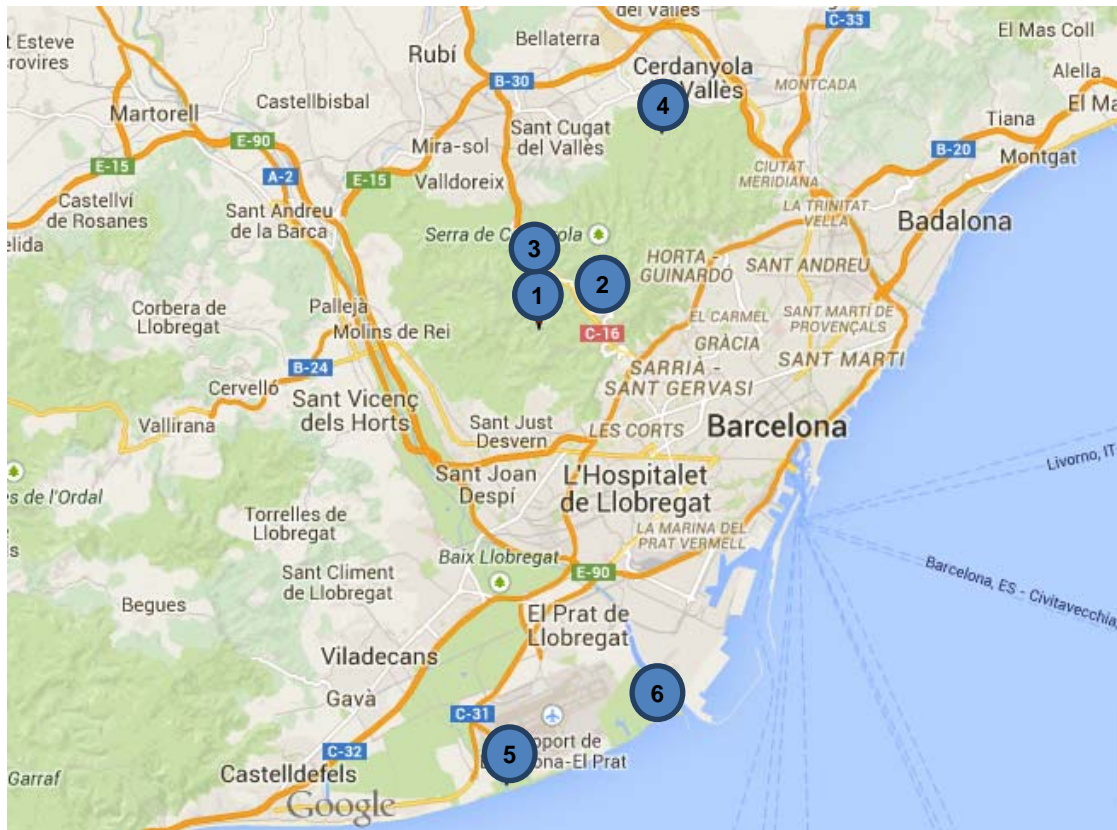
Mapa de fons de cel mesurat al treball amb la graduació de colors mostrada per Cinzano.

Així doncs, es pot observar que la zona amb menor contaminació lumínica també es troba a la zona de Begues (zona taronja del mapa) amb uns valors de brillantor del cel per sobre de $19 \text{ mag}/\text{arc}\cdot\text{sec}^2$, i superior en valor a 20 mesurats. En segon lloc, es pot observar la zona propera a Barcelona (en vermell) amb uns valors d'SQM d'entre 18 i $19 \text{ mag}/\text{arc}\cdot\text{sec}^2$, però amb algunes regions amb valors divergents. S'observa la diferència de les àries urbanes, on el fet de que hi hagi enllumenat provoca un descens de les mesures realitzades de fons de cel. També es pot apreciar, que la zona Nord-Oest del plànol de Cinzano presenta una classificació de vermell, quan, degut a l'elevat nombre d'infraestructures i ciutats adjacents amb Barcelona, aquestes tenen també un elevat grau de pol·lució. Per últim, s'aprecia la influència de

Barcelona i els nuclis propers densament poblats, que són zones amb un elevat grau de contaminació lumínica.

4.4. Recollida en el TEMPS de fons de cel

La recollida de dades ha estat mitjançant la metodologia descrita anteriorment. Les instal·lacions escollides han estat 6 a diferents espais naturals d'interès, amb l'objectiu de veure les variacions en diferents dies i hores del dia:



Plànol il·lustratiu de mesures en continu

1. Carretera de Molins (GPS: 41.4149594 N,2.0769525 E)
2. Centre del P. N. de Collserola (GPS: 41.344503 N,1.941855 E)
3. Can Balast (GPS: 41.3895936 N,2.0256258 E)
4. Can Coll (GPS: 41.1932863 N,1.757834 E)
5. Al Remolar (GPS: 41.3144037 N,2.0700861 E)
6. Al Semàfor (GPS: 41.3477248 N,2.0754076 E)

A continuació es presenten a mode de fitxa, els resums de cada ubicació. Es mostra la ubicació i descripció de la mesura. En l'eix vertical es mostra la foscor natural i en l'eix horitzontal el dia / hora UTC en funció de cada gràfic. Es pot observar la variació diürna (no hi ha mesures de "foscor") i nocturnes, quan s'incrementa la foscor. Es mostren les mesures:

- Totes les nits mesurades per veure diferències en funció de núvols, lluna.
- Una de detall horària, escollida la de millors condicions meteorològiques i lunars.

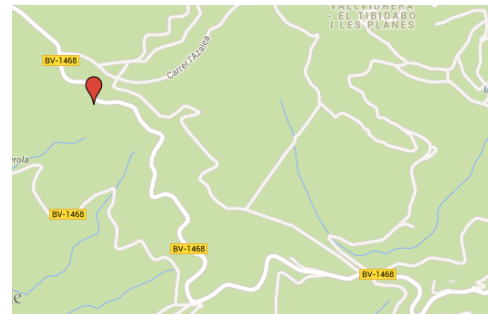
Ubicació: 1. Carretera de Molins

Període de recollida: 30/07/2014 al 04/8/2014

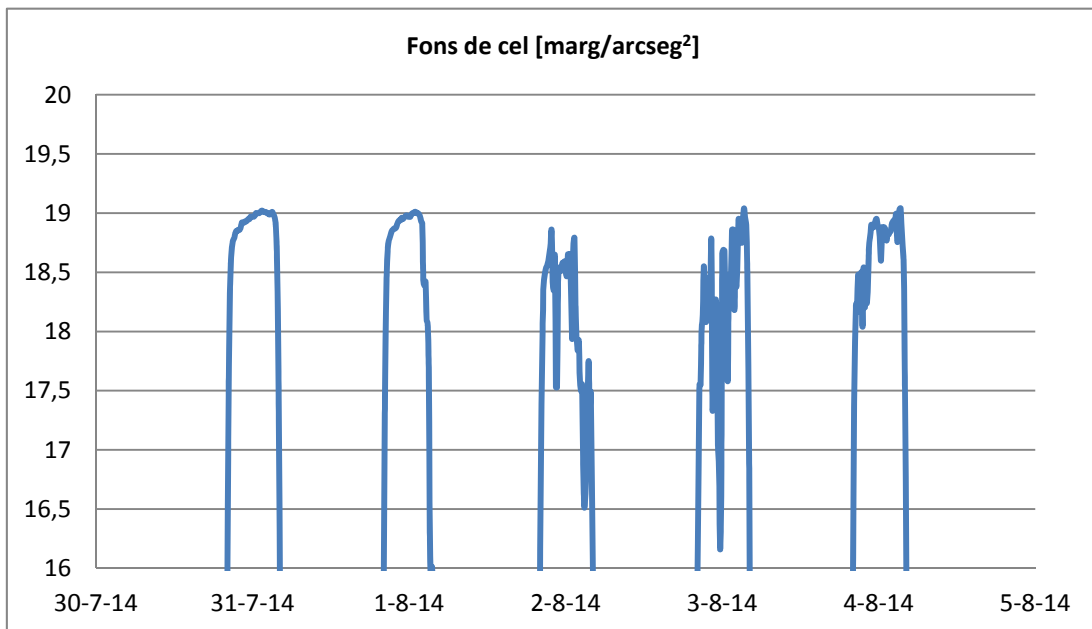
Imatge il·lustrativa:



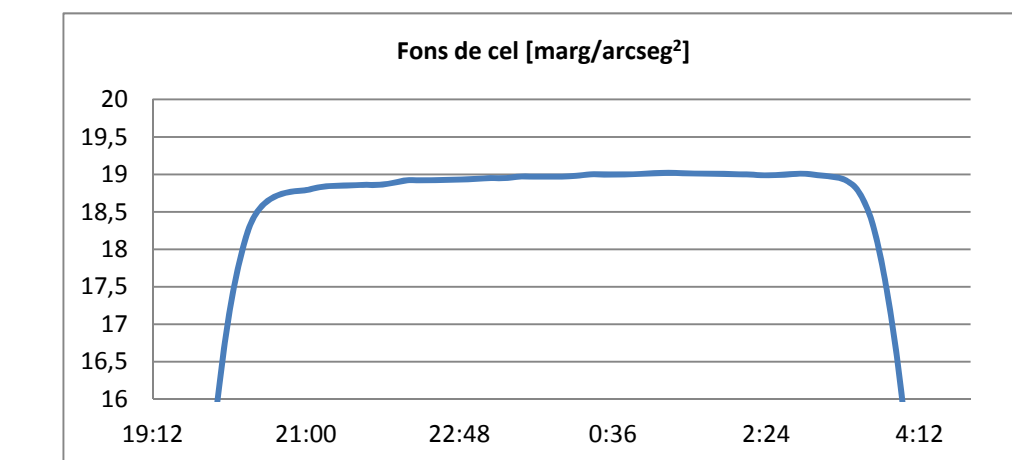
Ubicació:



Total Mesures:



Mesura representativa de nit clara: Nit del 30/07/2014 al 31/07/2014



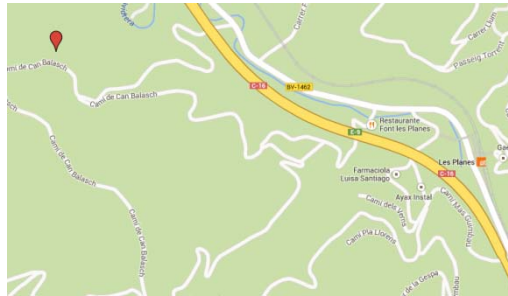
Màxim valor sostingut de fons de cel corregit (-0.11) en nit viable: 18,9 mag/arcsec²

Ubicació: 3. Can Balast (P.N.Collserola) Període de recollida: 14/08/2014 al 18/9/2014

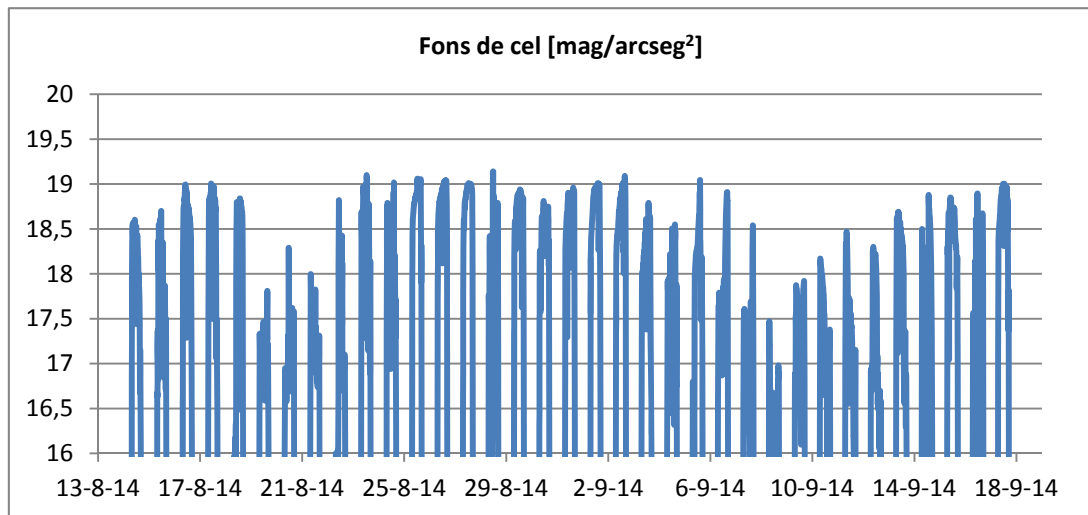
Imatge il·lustrativa:



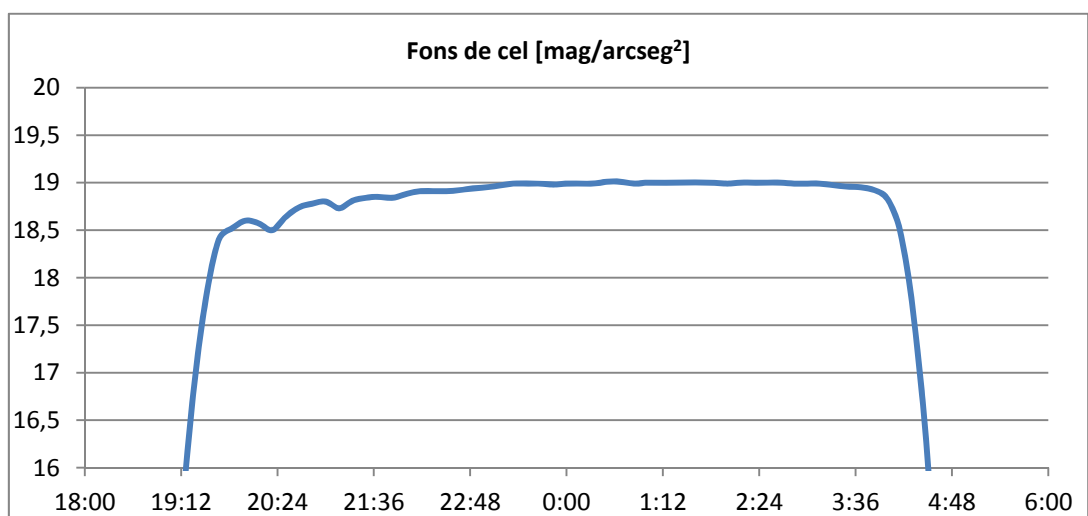
Ubicació:



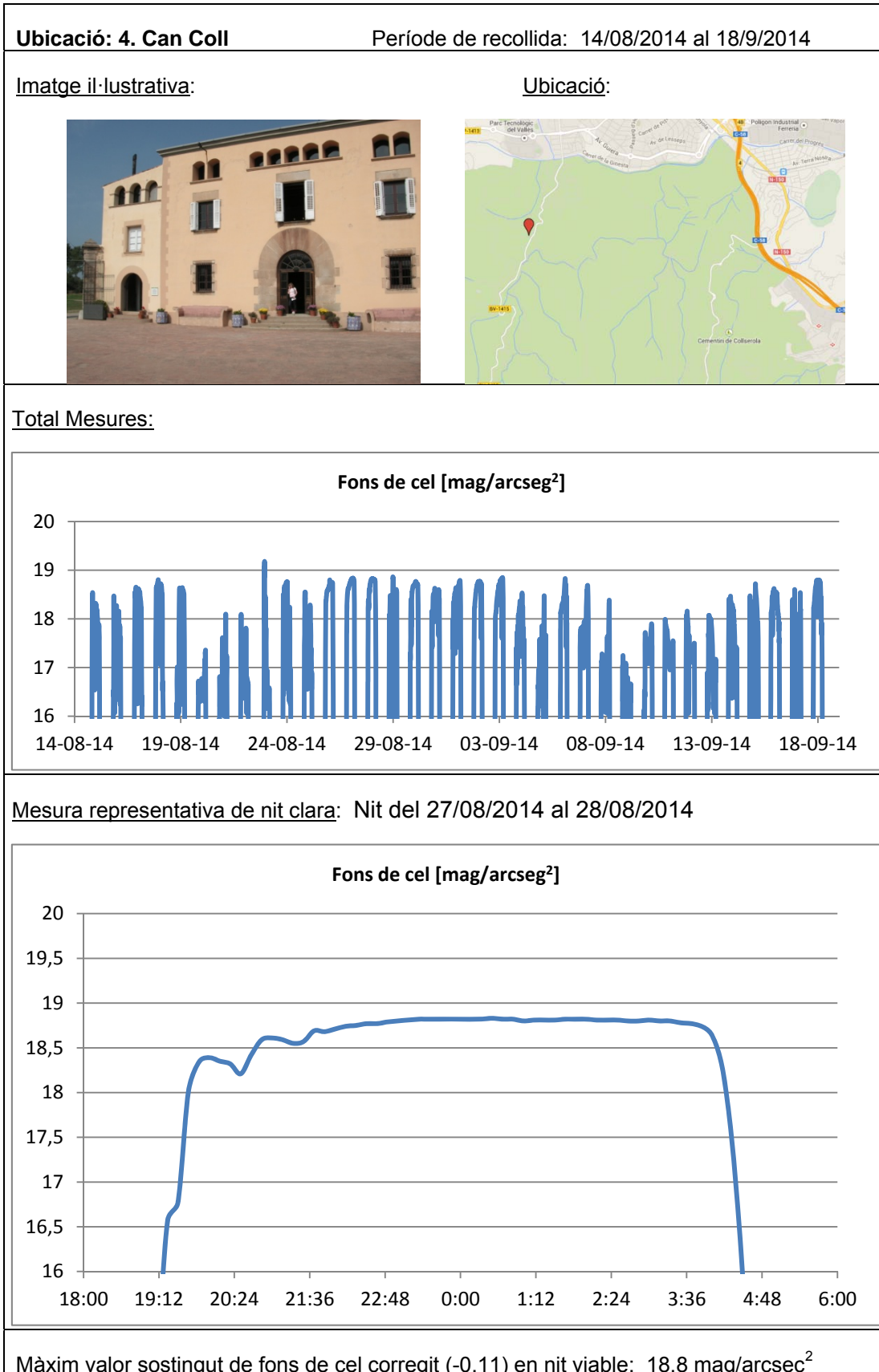
Total Mesures:



Mesura representativa de nit clara: Nit del 27/08/2014 al 28/08/2014



Màxim valor sostingut de fons de cel corregit (-0.11) en nit viable: 18,9 mag/arcsec²



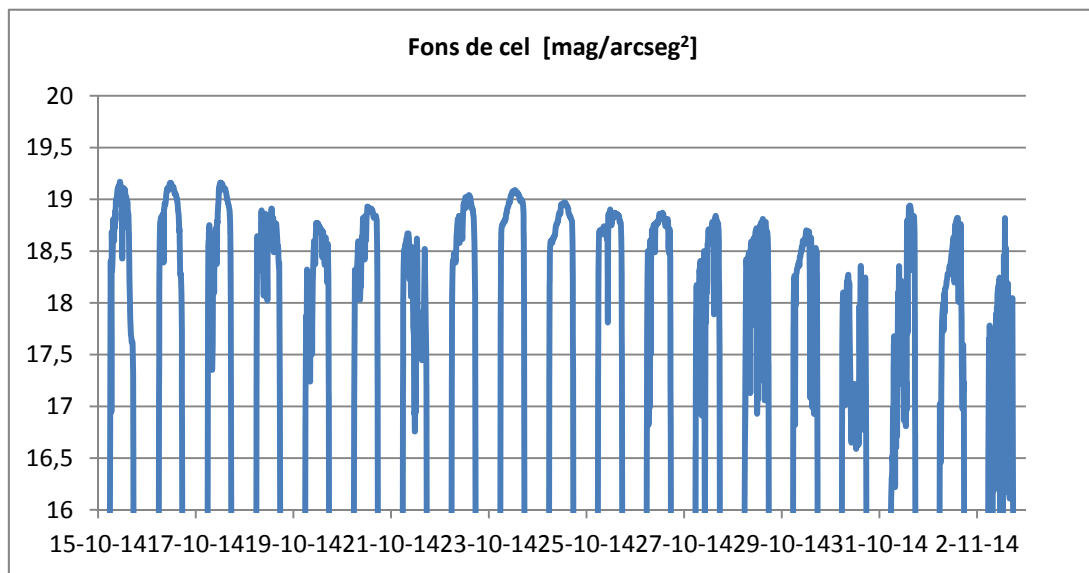
Ubicació: 5. Estany del Remolar

Període de recollida: 15/10/2014 al 03/11/2014

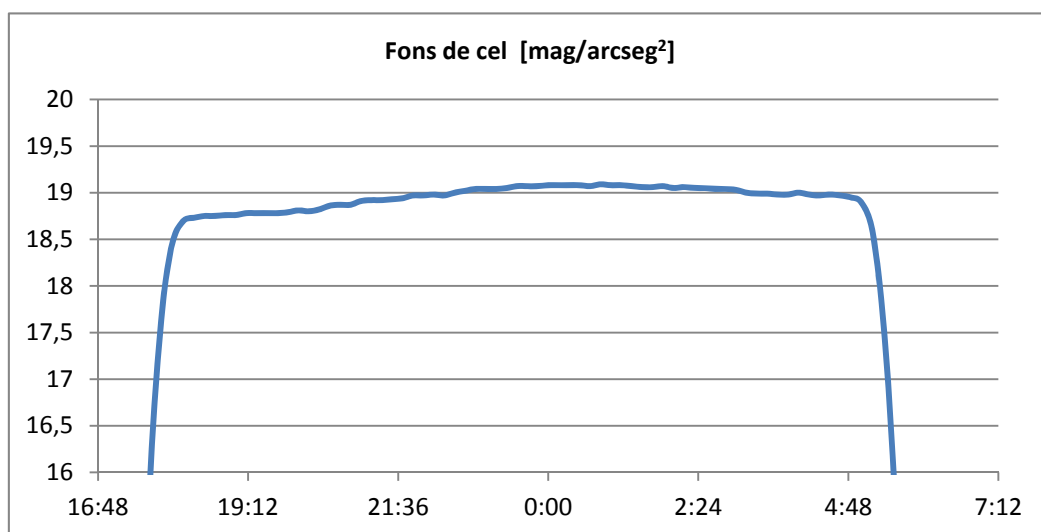
Imatge il·lustrativa:



Total Mesures:



Mesura representativa de nit clara: Nit del 23/10/2014 al 24/10/2014



Màxim valor sostingut de fons de cel corregit (-0.11) en nit viable: 19,07 mag/arcsec²

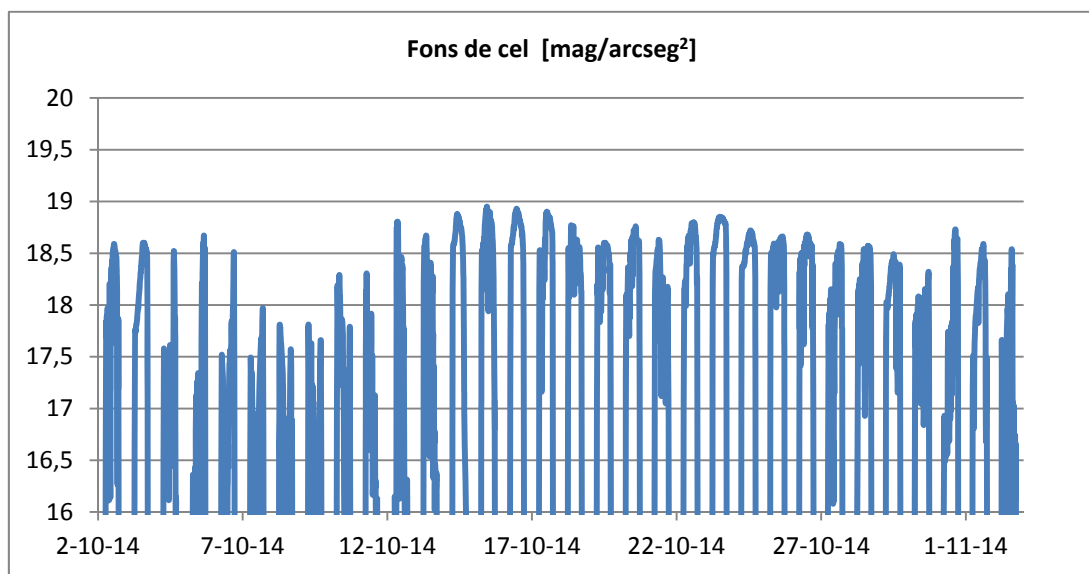
Ubicació: 6. Platja del Semàfor

Període de recollida: 15/10/2014 al 03/11/2014

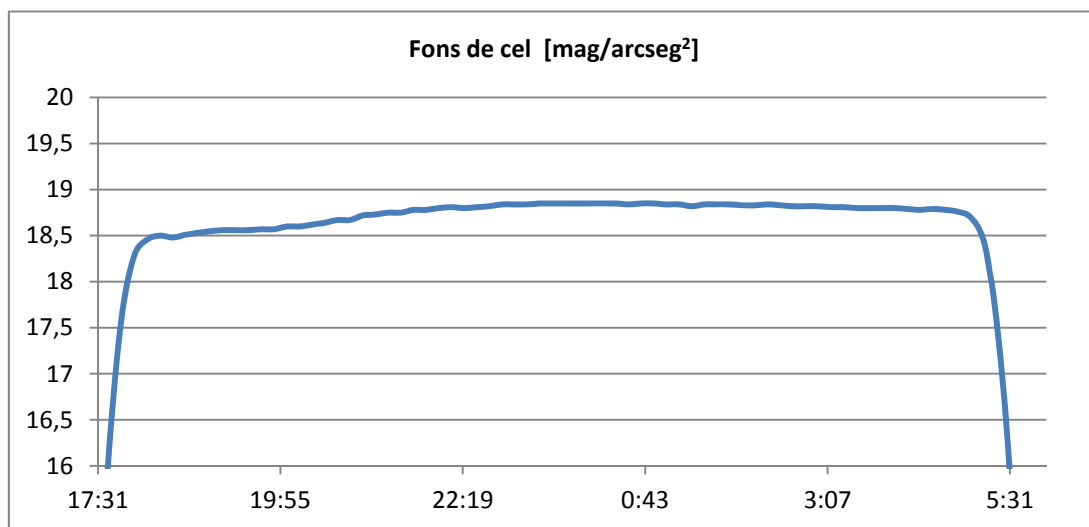
Imatge il·lustrativa:



Total Mesures:



Mesura representativa de nit clara: Nit del 23/10/2014 al 24/10/2014

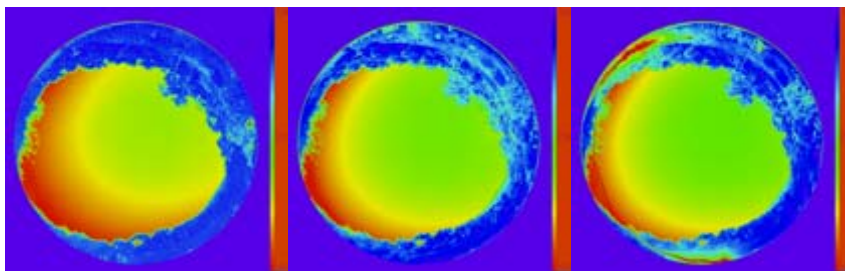


Màxim valor sostingut de fons de cel corregit (-0.11) en nit viable: 18,85 mag/arcsec²

4.5. Recollida en qualitat astronòmica visible (ASTMON)

L'ASTMON (*AllSky Transmission Monitor*) és un instrument científic de mesura desenvolupat específicament per la caracterització i mesura de la brillantor de l'esfera celeste (contaminació lumínica) i que aplica les tècniques de fotometria emprades en l'àmbit de l'astronomia.

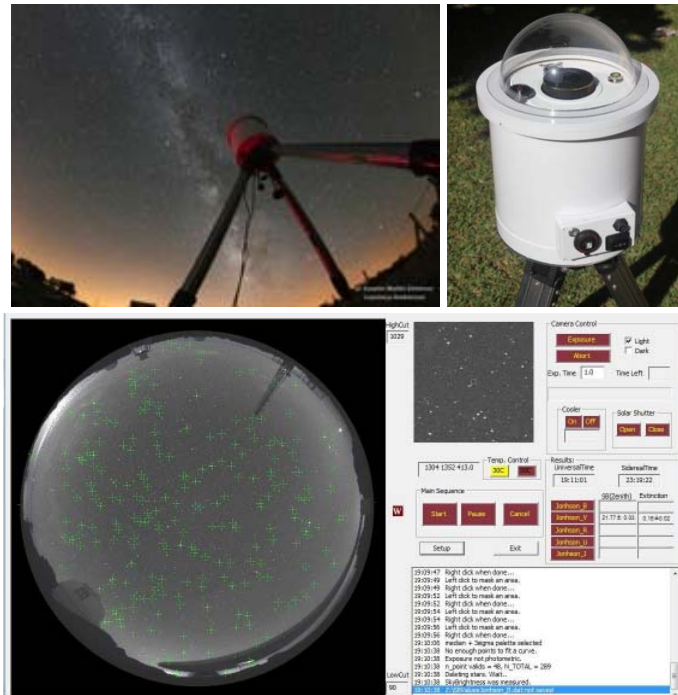
Les mesures es podem realitzar en diverses bandes espectrals del sistema fotomètric de Johnson (B, V, R e I) que s'empra de forma habitual a astronomia. Donat que la brillantor o magnitud de les estrelles en aquest sistema fotomètric són conegudes, és possible obtenir un zero instrumental i en conseqüència calibrar la brillantor del fons del cel.



Mesures obtingudes amb ASTMON amb els filtres fotomètrica Johnson B (esq.), R (centre) y V (dta.)

L'ASTMON es basa en una càmera CCD (dispositiu de càrrega acoblada) amb una roda porta filtres i un objectiu d'amplitud ull de peix que proporciona al dispositiu un camp de visió de 180°. En concret, l'equip emprat a l'AMB és l'ASTMON-Lite (versió mòbil) que es basa en:

- Detector CCD 3348x2574 píxels, d'ús astronòmic.
- Ull de peix de 180 graus amb adaptador a CCD.
- Roda de filtres amb 5 posicions.
- Habitable intempèrie. Cúpula. Trípod.
- Filtres fotomètrics Johnson B, V, R e I.
- Brúixola i un nivell de bombolla d'ull de bou per la posta a punt.
- Software automàtic d'adquisició i de processat de dades.



ASTMON-Lite (esquerra i centre) i software de presa i processat de dades (dreta)

Donat que la contaminació lumínica per definició, és la fracció de llum artificial que es difon per l'atmosfera, aquesta es pot quantificar a través del coneixement de la brillantor superficial del cel, en la seva afectació de resplendor lluminós de l'atmosfera. Aquesta magnitud és la que determina l'ASTMON a través d'un software de control completament automàtic que:

- Obté les imatges.
- Controla la roda de filtres.
- Redueix i processa rigorosament les imatges obtingudes per la càmera CCD aplicant tots els algorismes emprats habitualment en fotometria als observatoris astronòmics professionals.

Per iniciar les mesures, l'instrument ha d'estar perfectament pla, orientat al Nord i que la hora (obtinguda de l'ordinador) estigui ben ajustada i en format de temps universal (UTC). A més, el programa verifica que les condicions d'observació siguin les adequades, com poden ser la hora, si hi ha lluna o si ha començat o no la nit astronòmica. Òbviament, les mesures de brillantor del cel s'han de fer en condicions de nit astronòmica i sense lluna.

Quan es compleixen les condicions per poder mesurar la brillantor de l'esfera celeste, l'equip inicia un algorisme en el que programa totes les accions necessàries per a obtenir una mesura. A continuació es descriuen breument els passos que es segueixen per la presa de mesures:

- El sistema es refrigera per tal de reduir la temperatura del sensor a 15°C, el que és necessari per tal de reduir els efectes de la corrent de fosc que afecta les imatges.
- En primer lloc, es realitza la presa de **Darks** (imatge amb l'obturador tancat) generant el **MasterDark** que aplica a cada una de les imatges de llum per tal de corregir-les a través de corrent de fosc, és a dir, la creació de càrregues per agitació tèrmica dels components de l'equip. També realitza la presa de 4 **Bias (Darks amb exposició zero)** necessàries per eliminar la senyal de

lectura que es genera cada cop intervé el circuit electrònic encarregat d'escombrar el xip per llegir el seu contingut.

- A continuació es pren la primera imatge de llum amb el filtre seleccionat (s'ha pres una exposició de 50 segons en cada filtre fotomètric) i s'aplica el **MasterDark** així com la correcció de **FlatField** (aplanament de camp) que corregeix la imatge resultant de les possibles diferències de sensibilitat píxel a píxel (realitzada de forma prèvia durant al calibratge de l'equip).
- Després d'aquest procés, es té una imatge que conté tota la informació necessària per determinar la constant instrumental del dispositiu (que depèn del filtre), la brillantor del fons de cel per aquell moment i filtre emprat. S'identifiquen les estrelles en el camp de visió que apareixen sobre la imatge de llum presa. ASTMON té un catàleg intern d'estrelles amb magnitud establerta coneguda i el software creua les posicions d'aquestes estrelles amb les que estan presents en la imatge, pel qual s'ha hagut d'introduir la posició geogràfica en la que hem pres la mesura, la data i l'hora (UTC).
- Un cop realitzat això, mesura el flux de fotons que hi ha per cada píxel i l'expressa en magnituds, generant un mapa (en format FITS) en el que cada valor de píxel conté el valor de brillantor superficial del cel en aquella posició en Magnituds/Arc segon al quadrat.

Les mesures es presenten en els següents formats:

- Imatges estàndard en cadascuna de les bandes (B, V, R e I) en format FITS (format estàndard emprat en astronomia professional). Amb una extensió de 2.500 x 2.500 píxels, on el valor de cada píxel és la brillantor superficial del cel mesurat per la banda en qüestió.
- Mapes de brillantor del fons de cel en cada banda. En format FITS i en unitats de mag/arc·sec². A més, tots els mapes generats també es graven en format JPEG. Aquests mapes permeten també visualitzar la variació espacial de la il·luminació del cel nocturn.
- Fitxers en format de text, amb la mesura de brillantor del fons de cel en cada una de les localitzacions i, per a cada filtre, amb el valor en el zenit, a 45° sobre l'horitzó dels quatre punts cardinals. En total 5 valors de la brillantor del fons del cel en cada presa.

NOTA: Les mesures realitzades han estat principalment en filtre V (el més similar al visible). S'han realitzat mesures també en filtre B i R en ubicacions estratègiques per poder repetir-les en un futur si s'escau i es considera necessari. De forma que els resultats obtinguts puguin servir de valors de referència de qualitat per avaluar evolució de la problemàtica en un futur.

Les mesures preses han estat:



Plànol il·lustratiu de mesures ASTMON

1. P.N. Garraf (GPS: 41,282356 N; 1,906146 E)
2. Gavà. Camí de la Murtra (GPS: 41,284419 N; 2,021217 E)
3. Crta Molins de Rei – Vallvidriera (GPS: 41,407027 N; 2,101084 E)
4. Torrelles de Llobregat(GPS: 41,359992 N; 1,987595 E)
5. Molins de Rei. Santa Creu d'Olorda (GPS: 41,4153 N; 2,05813 E)
6. P.N. Collserola. Tibidabo(GPS: 41,42344 N; 2,120655 E)
7. P.N. Collserola, Crta Aigües(GPS: 41,419661 N; 2,127703 E)
8. Tiana. (GPS: 41,489395 N; 2,269476 E)

A l'Annex E. Mesures de fons de cel ASTMON es presenten totes les dades i imatges realitzades. La seva avaluació es farà a l'apartat de resultats.

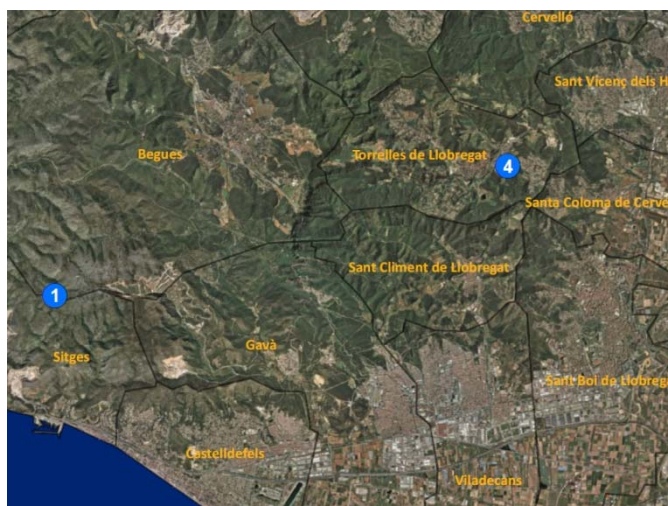
A continuació es presenten en mode de fitxa resum les 3 més representatives per la seva ubicació i qualitat de dades:

MESURA 1: P.N. del Garraf

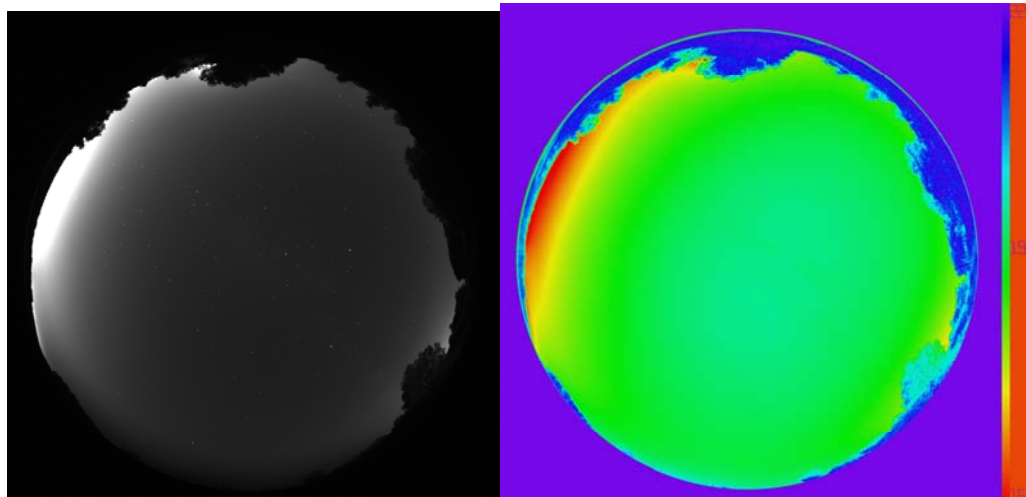
Població: Begues

GPS: 41,282356 N; 1,906146 E

Data i hora: 21/10/2014 (19:43 UTC)



SB (mag/arc·sec ²)						
Arxiu de mesura	Zenit	45° N	45° E	45° S	45° O	Filtre
20141021_194310	19,54	19,09	18,79	19,39	19,40	V
20141021_195258	19,23	19,05	18,79	19,46	19,35	V
20141021_193742	21,37	20,94	20,73	21,19	21,33	B
20141021_194835	19,02	18,55	18,26	18,90	18,88	R



MESURA 7: P.N. de Collserola, Carretera de les aigües

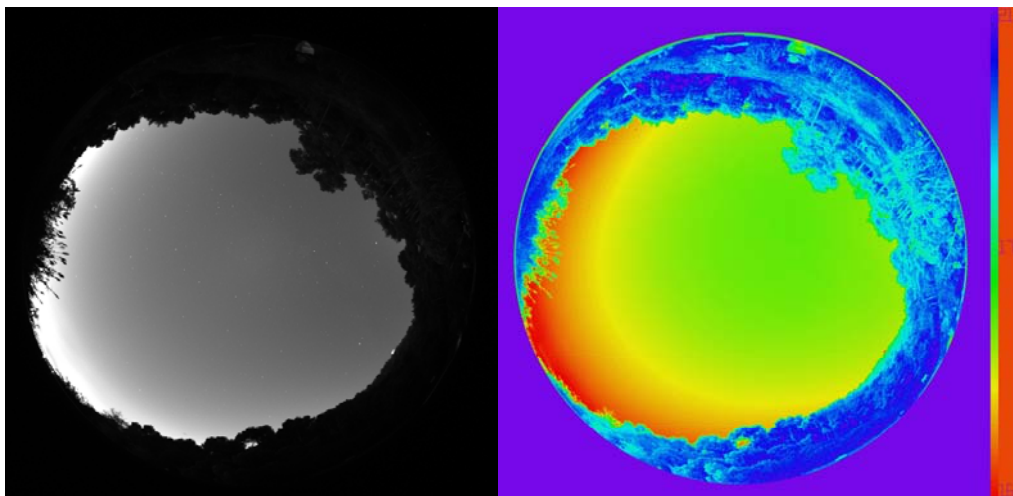
Població: Barcelona

GPS: 41,419661 N; 2,127703 E

Data i hora: 23/10/2014 (20:18 UTC)



Arxiu de mesura	SB (mag/arc·sec ²)					Filtre
	Zenit	45° N	45° E	45° S	45° O	
20141023_201835	19,80	19,70	19,27	19,30	19,77	B
20141023_203014	19,84	19,76	19,38	19,34	19,80	B
20141023_202239	17,86	17,86	17,42	17,52	17,94	V
20141023_203412	17,91	17,91	17,51	17,57	17,93	V
20141023_202632	17,51	17,37	16,95	17,02	17,42	R
20141023_203759	17,56	17,39	16,99	17,09	17,49	R



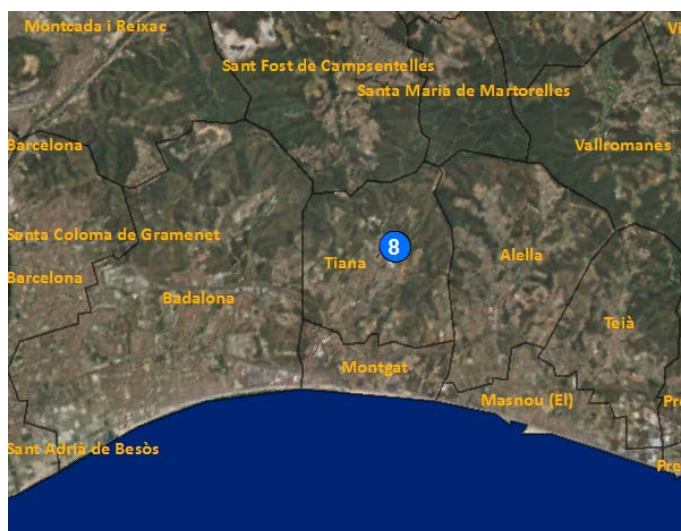
Comentaris i dades a considerar:

MESURA 8: Centre astronòmic de Tiana

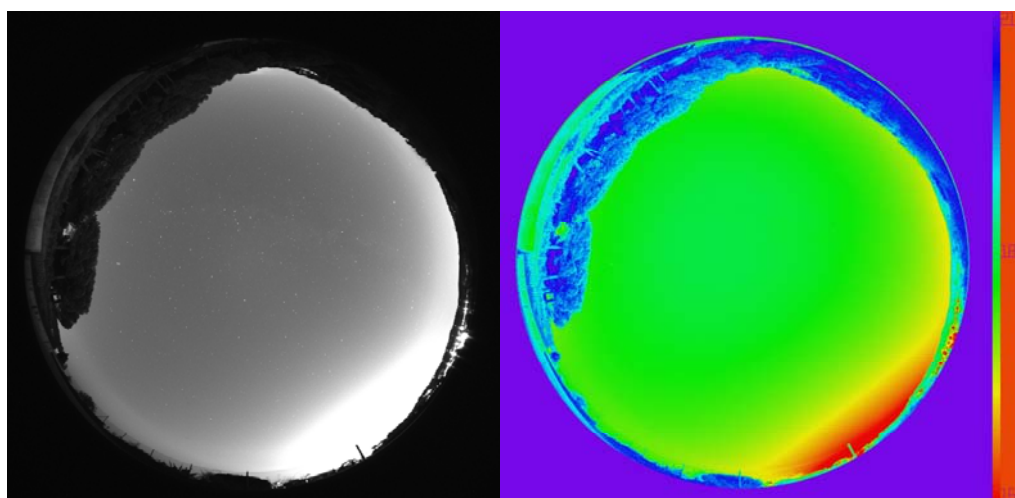
Població: Tiana

GPS: 41,489395 N; 2,269476 E

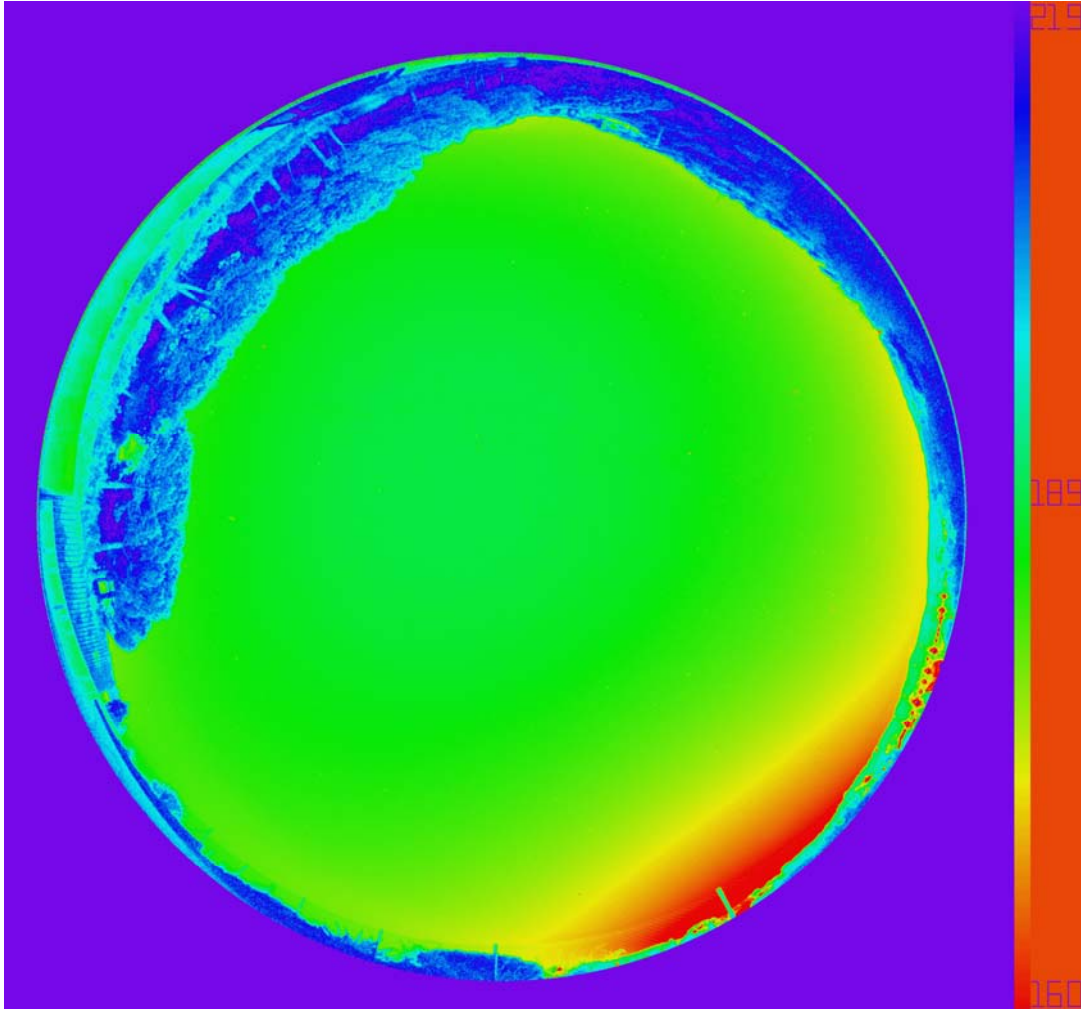
Data i hora: 23/10/2014 (21:41 UTC)



SB (mag/arc-sec ²)						
Arxiu de mesura	Zenit	45° N	45° E	45° S	45° O	Filtre
20141023_214103	20,90	20,66	20,65	20,32	20,55	B
20141023_214648	18,80	18,80	18,70	18,47	18,56	V
20141023_215225	18,38	18,27	18,16	17,88	17,97	R



A les mesures es pot veure la ubicació i moment de la realització de la presa de dades, així com els resultats en mode gràfic les imatges que il·lustren el fons de cel. El valor quan més fred, més fosc (més qualitat). A continuació es mostra una imatge més gran amb la llegenda al costat. Les dades es poden consultar en detall en l'annex corresponent:



Detall de la mesura a l'Observatori de Tiana en filtre V.

Es pot veure a baix a la dreta (orientació Sud- Oest) l'increment de brillantor provinent de Barcelona.

A les taules es mostra el valor de foscor (en mag/arc·sec²) per cada filtre a una orientació de zenit o 45 ° en cadascuna de les direccions cardinals.

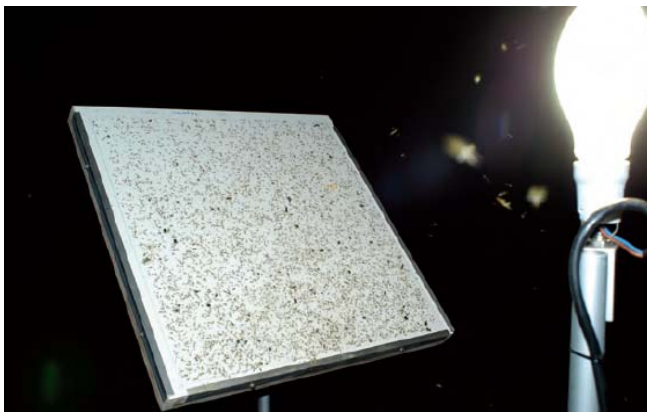
5. ZONES PROTEGIDES ANALITZADES:

Després dels anàlisis d'imatge per satèl·lit i detectades les zones de fricció més importants, així com l'anàlisi de zones singulars i fons de cel general, es detecten les zones més afectades. Les escollides han estat per la seva major proximitat a les zones problemàtiques i els alts nivells lumínics detectats tant a fons de cel com generalitzats per mesures manuals: El Parc Natural de Collserola i els Espais Naturals del Delta del Llobregat.

Per tal d'analitzar la fauna susceptible de veure's afectada, s'ha separat entre:

- Invertebrats.
- Vertebrats.

Els primers són en la gran majoria de vegades susceptibles o molt susceptibles a la llum degut a que són principalment nocturns. Per tant es parteix del fet que un increment en la brillantor d'una zona o la presència de punts brillants tenen una especial incidència en els no vertebrats.



Exemple de dispositiu experimental per atraure insectes a la llum

En referència als vertebrats, s'ha obtingut un cens dels espais naturals i s'ha prioritzat les espècies amenaçades segons catalogació interna de la font que ha facilitat la informació i /o l'estat de conservació al Món, a l'Estat Espanyol i a Catalunya segons la Unió Internacional per la Conservació de la Natura (UICN). Segons:



- Preocupació menor (LC)
- Quasi amenaçada (NT)
- Vulnerable (VU)
- En perill(EN)
- En perill crític (CR)
- Extingida en estat silvestre (EW)
- Extingida (EX)

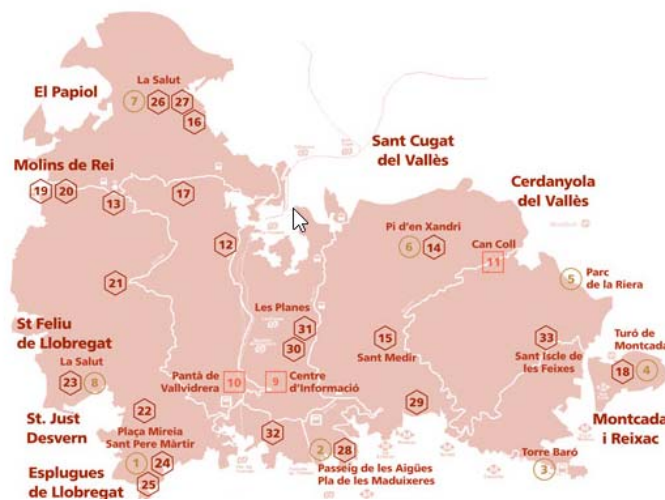
Es tindran en compte per l'anàlisi, aquelles espècies que estan catalogades com NT o superior, o especialment interessants per l'espai natural.

Posteriorment s'analitzarà el seu comportament, modus o relació a l'ecosistema i es detectarà a partir de la bibliografia directa o símil acceptable de l'Apartat 2.3, la seva sensibilitat a la llum i per tant un possible Impacte Ambiental Lumínic. Tot i això, totes les espècies poden ser sensibles a la llum segons la seva fisiologia particular.

5.1. Parc Natural de la Serra de Collserola

DESCRIPCIÓ DE L'ESPAI

El Parc Natural de la Serra de Collserola té un total de 8.259 ha, i va ser declarat al 19 d'Octubre de 2010. El formen 9 termes municipals de l'AMB i el seu abans geogràfic es pot veure a continuació:



La seva proximitat a zones d'altíssima densitat de població i activitat industrial, fa que la seva protecció sigui especialment important.

ESPÈCIES SENSIBLES:

El cens d'espècies facilitat va ser enviat el 22/07/2014 i és el de 2013. Pot consultar-se als annexes. Després de la prioritització segons la seva sensibilitat, s'han detectat un total de 39 espècies de vertebrats susceptibles de ser analitzades:

Nom comú	Nom científic	EC Món	EC ESP	EC Cat
Gripau d'esperons	Pelobates cultripes	NT	NT	
Eскурçó ibèric	Vipera latastei	NT	NT	
Llangardaix ocel·lat	Timon lepidus	NT	LC	
Ratpenat de ferradura gros	Rhinolophus ferrumequinum	NT	NT	
Ratpenat de Schreibers	Miniopterus schreibersi	NT	VU	
Ratpenat de peus grossos	Myotis capaccinii?	VU	EN	
Ratpenat d'orelles dentades	Myotis emarginatus?	VU	VU	
Ratpenat de musell llarg	Myotis myotis?	NT	VU	
Nòctul petit	Nyctalus leisleri (*)	NT	NT	
Esquirol	Sciurus vulgaris	NT	LC	
Rata cellarda	Eliomys quercinus	VU	LC	
Tòtil	Alytes obstetricans	LC	NT	
Reineta meridional	Hyla meridionalis	LC	NT	
Salamandra comuna	Salamandra salamandra	LC	VU	
Ratpenat cuallarg europeu	Tadarida teniotis	LC	NT	
Ratpenat de ferradura petit	Rhinolophus hipposideros	LC	NT	
Ratpenat de musell agut	Myotis blythii?	LC	VU	
Ratpenat de Natterer	Myotis nattereri?	LC	NT	
Ratpenat orellut meridional	Plecotus austriacus	LC	NT	
Tórtora	Streptopelia turtur	LC	VU	VU
Botxí	Lanius meridionalis	LC	NT	VU
Capsigrany	Lanius senator	LC	NT	NT
Còlit rosa	Oenanthe hispanica	LC	NT	NT
Astor	Accipiter gentilis	LC	LC	NT
Aligot comú	Buteo buteo	LC	LC	NT
Àguila marcenca	Circaetus gallicus	LC	LC	NT
Cucut reial	Clamator glandarius	LC	LC	VU
Falcó pelegrí	Falco peregrinus	LC	LC	NT
Perdiu roja	Alectoris rufa	LC	DD	VU
Polla d'aigua	Gallinula chloropus	LC	LC	NT
Cogullada comú	Galerida cristata	LC	LC	NT
Papamosques gris	Muscicapa striata	LC	LC	NT
Pardal xarrec	Passer montanus	LC	LC	NT
Tallarol trenca-mates	Sylvia conspicillata	LC	LC	VU
Còlit negre	Oenanthe leucura	LC	LC	NT
Colltort	Jynx torquilla	LC	LC	NT
Mussol comú	Athene noctua	LC	LC	NT
Xot	Otus scops	LC	LC	NT
Òliva	Tyto alba	LC	LC	NT

En **negreta** els que tenen més vida nocturna.

PROBLEMÀTICA DETECTADA:

Cal mencionar la poca presència d'espècies en àmbit vulnerable o extinció, només les marcades en vermell. En la seva majoria, ratpenats, salamandra i lirón careto (rata cellarda en català) molts de modus vivendis nocturn (en **negreta**). Pels seus comportaments nocturns i fragilitat durant la nit, la variació del medi pot afectar la seva població actual.



Salamandra comú, rata cellarda, i algunes espècies de ratpenats que són sensibles a les variacions del medi nocturn.

Tot i això, altres espècies degut a la seva fisiologia particular o comportament nocturn, poden ser sensibles a la alteració del medi nocturn.

5.2. Espais Naturals del Delta del Llobregat

DESCRIPCIÓ DE L'ESPAI

El Delta del Llobregat està format per una extensa plana que ocupa uns 98 km² entre el massís del Garraf i Montjuïc, a tocar d'algunes de les principals ciutats de Catalunya. És el segon delta en extensió i conserva un dels aiguamolls més importants del país.

Al llarg dels segles, el Delta s'ha anat transformant per l'acció humana i les diferents etapes han deixat empremta sobre el territori, que s'ha convertit en un mosaic de paisatges: espais naturals, conreus, zones urbanes, industrials i de serveis, xarxa viària i ferroviària i infraestructures com el Port i l'Aeroport de Barcelona.



Mapa il·lustratiu de les zones més importants dels Espais Naturals del Delta del Llobregat. Font . <http://www.portadeldeta.cat>

ESPÈCIES SENSIBLES:

Les informacions facilitades són els Censos d'Ocells Hivernants del Delta del Llobregat els últims tres anys. Han estat rebudes a l'octubre de 2014. Després de la prioritització segons la seva sensibilitat tenim:

Nom comú	Nom científic	EC Europa	EC Cat
Boscarla mostatxada	Acrocephalus melanopogon	LC	EN
Xivitona	Actitis hypoleucos	Declivi	EN
Ànec cullerot	Anas clypeata	Declivi	EN
Grasset	Anthus spinoletta	Segura	VU
Morell cap-roig	Aythya ferina	Declivi	VU
Morell xocolater	Aythya nyroca	VU	EN
Bitó	Botaurus stellaris	Reduïda	EN
tòrlit	Burhinus oedicephalus	VU	VU
Passarell comú	Carduelis cannabina	Declivi	VU
Cadenera	Carduelis carduelis	Segura	VU
Verdum	Carduelis chloris	Segura	VU
Lluer	Carduelis spinus	Segura	VU
Agró blanc	Casmerodius albus	Segura	EN
Arpella vulgar	Circus aeruginosus	Segura	VU
Arpella pàl·lida	Circus cyaneus	Reduïda	EN
Repicatalons	Emberiza schoeniclus	Segura	EN
Gavina corsa	Larus audouinii	Localitzada	VU
Gavià fosc	Larus fuscus	Segura	EN
Gavina capnegra	Larus melanocephalus	SEGURA	EN
Cuereta torrentera	Motacilla cinerea	Segura	VU
Xibec	Netta rufina	Segura	VU
Corbmarí emplomallat	Phalacrocorax aristotelis	Segura	VU
Mosquiter comú	Phylloscopus collybita	Segura	VU
Bec planer	Platalea leucorodia	Rara	Lleis
Bec d'alena	Recurvirostra avosetta	Segura	VU
Teixidor	Remiz pendulinus	Segura	VU
Bitxac comú	Saxicola torquata	Segura	VU
Xatrac bec-llarg	Sterna sandvicensis	Reduïda	VU
Fredeluga	Vanellus vanellus	VU	N/A

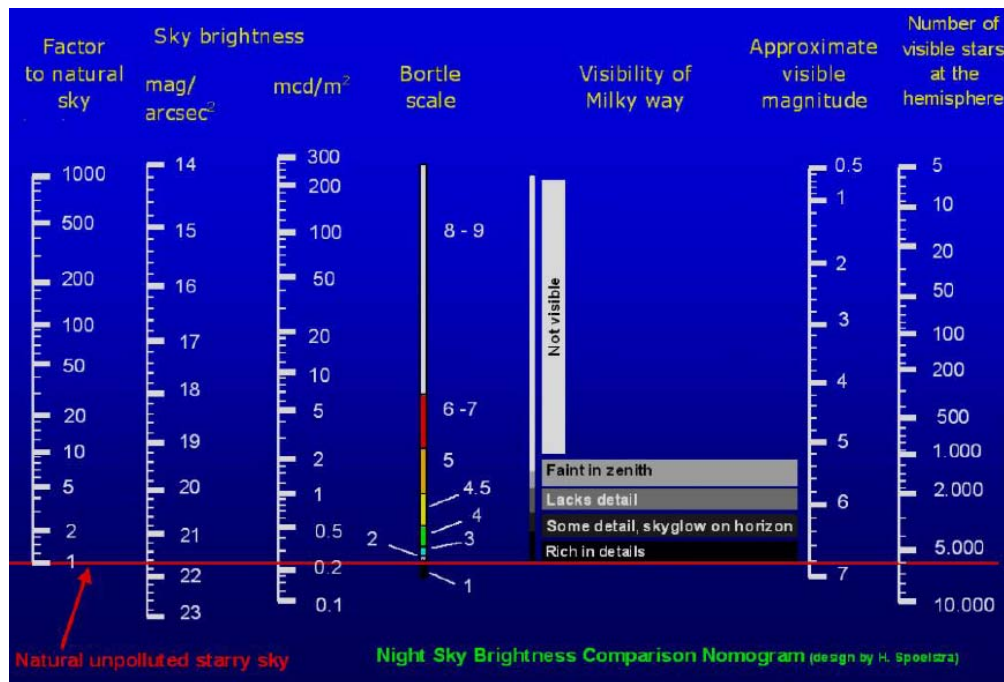
6. ANÀLISI DE RESULTATS:

6.1. Estat d'Impacte Ambiental lumínic actual

Després d'observar els resultats de les mesures per tota l'AMB, de veure l'evolució de la brillantor en el temps, i d'analitzar diferents instal·lacions singulars, el resultat que es desprèn és que: **la qualitat de l'entorn nocturn a l'AMB és en general baixa**. Per una altra banda, **típic de grans aglomeracions urbanes en el nostre país i nivell de desenvolupament**. Aquesta afirmació es desprèn de les següents consideracions:

A) En general la brillantor del cel és elevada i dificulta la visió del cel nocturn a la gran part del territori. Només a zones prou allunyades del centre neuràlgic (a un mínim de 30 km de Barcelona i ja dintre del P.N. del Garraf) es poden detectar nivells de mínima qualitat.

Si partim de la comparació entre magnituds següent, veiem que la gran part del territori està per sota de 19 mag/arc·sec² fins i tot a zones rurals o de parc natural.

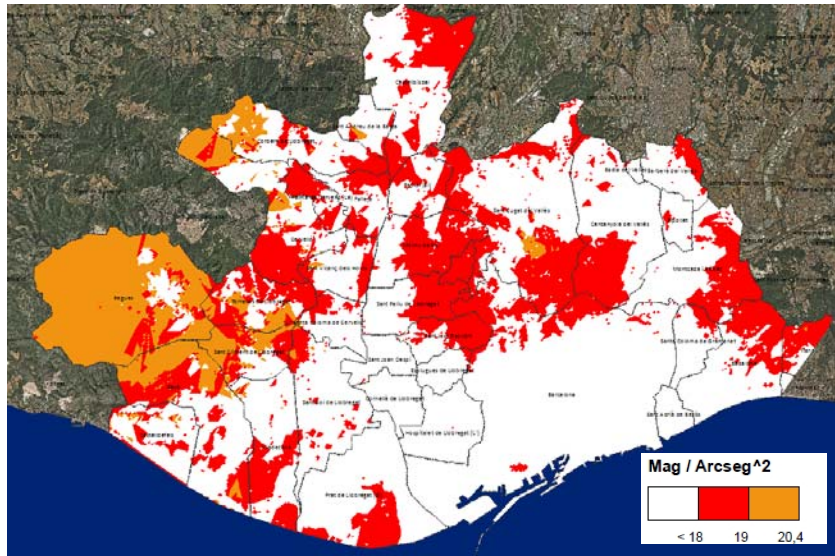


Comparació entre magnituds de mesura del SQM. Font: H. Spoelstra.

S'ha de tenir en compte que el Projecte de Reglament d'ordenació del cel nocturn que s'ha publicat a finals de setembre de 2014 vol promoure espais de qualitat de cel, i demana com a mínim un valor de 20 mag/arc·sec². Tot i això, aquest valor és conservador i els astrònoms demanen valors clarament superiors a 21 mag/arc·sec² i es considera el cel nocturn natural a 21,8 mag/arc·sec².

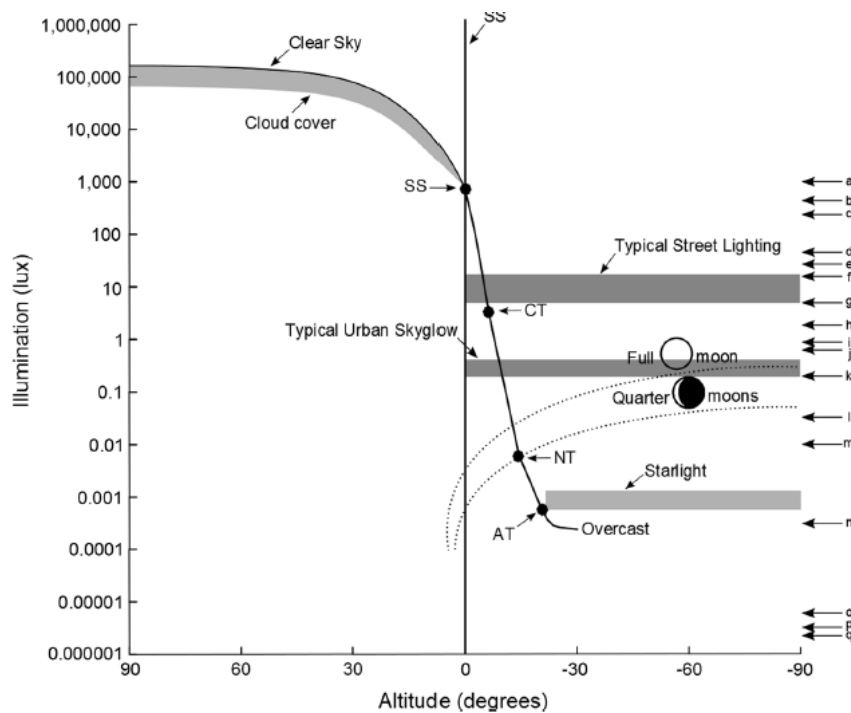
Una brillantor de cel a 19 mag/arc·sec² presenta 2,5 vegades més brillantor que el que demana la Generalitat de Catalunya com a zona de qualitat, i 13 vegades més brillant del que seria la foscor natural. En resum: L'AREA METROPOLITANA DE BARCELONA ÉS UNA REGIÓ D'ELEVADA CONTAMINACIÓ LUMÍNICA.

Si veiem el mapa d'estimacions de fons de cel mesurats, segons els intervals de Cinzano, veiem efectivament, que quasi tota l'AMB està per sota d'aquest valor de 19 mag/arc·sec²:



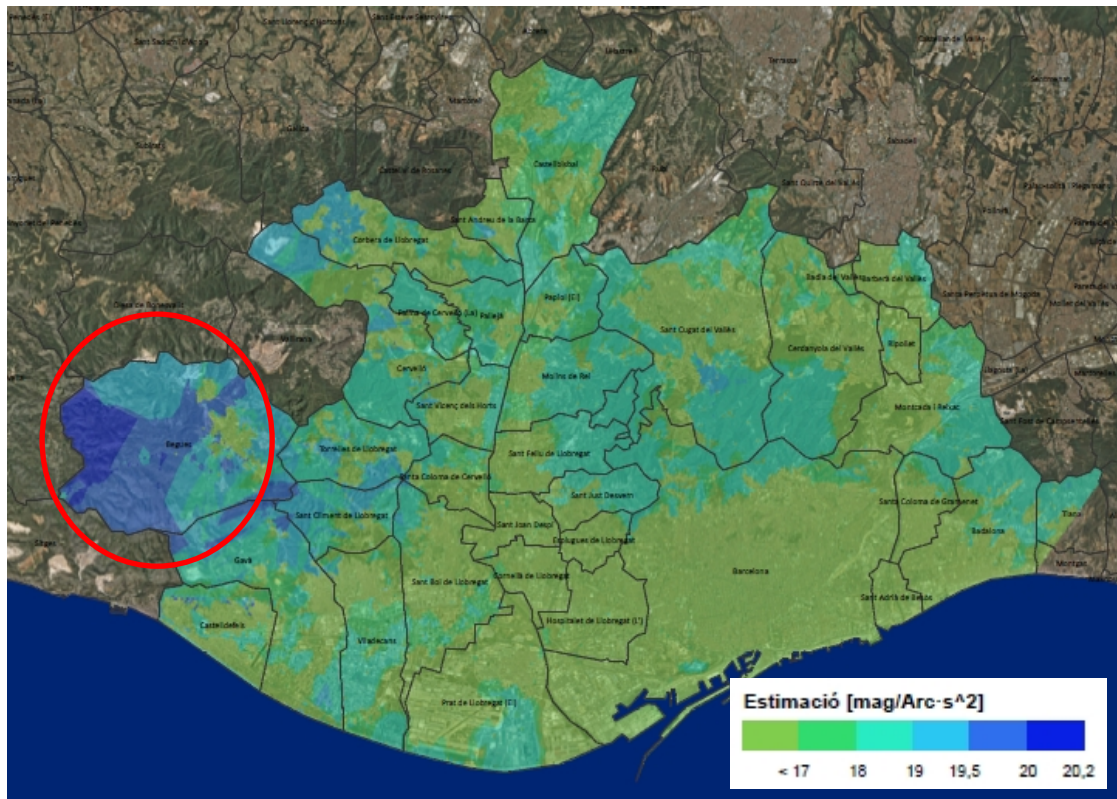
Mapa de fons de cel mesurat al treball amb la graduació de colors mostrada per Cinzano.

A més, les condicions de contaminació atmosfèrica, per aeronaus (vapor d'aigua dels avions), i humitat inherent a la proximitat al mar fa que les condicions del cel siguin favorables per incrementar la seva brillantor, per la difusió de la llum en les partícules més grans que poden portar. Aquests factors fan que a l'AMB la majoria dels dies es visqui amb una brillantor del cel i un nivell lumínic superior a la de la Lluna plena.



Mapa comparatiu de diferents nivells lumínics en lx segons diferents situacions (SS: Sunset):
 Font: Human alteration of natural light cycles: causes and ecological consequences (de Gaston, K.)

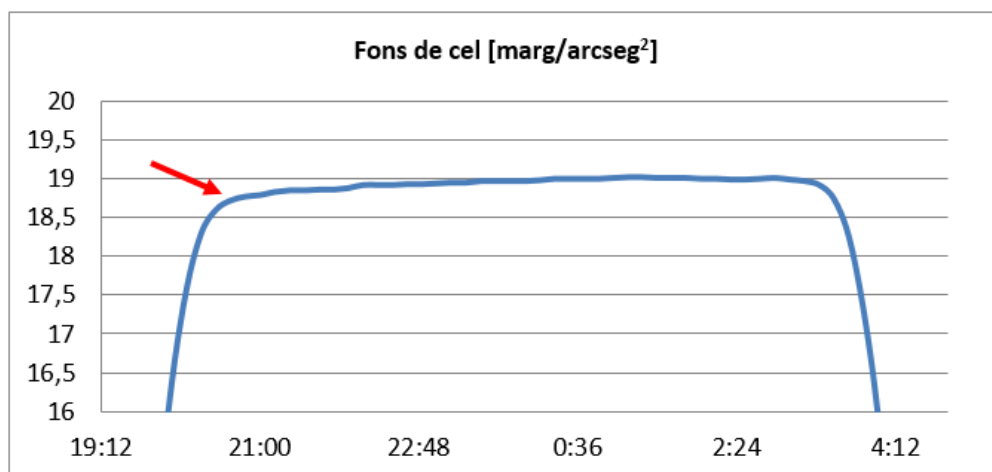
Només a les zones del P.N. del Garraf al terme municipal de Begues es reuneixen unes zones de mínima qualitat de cel nocturn.

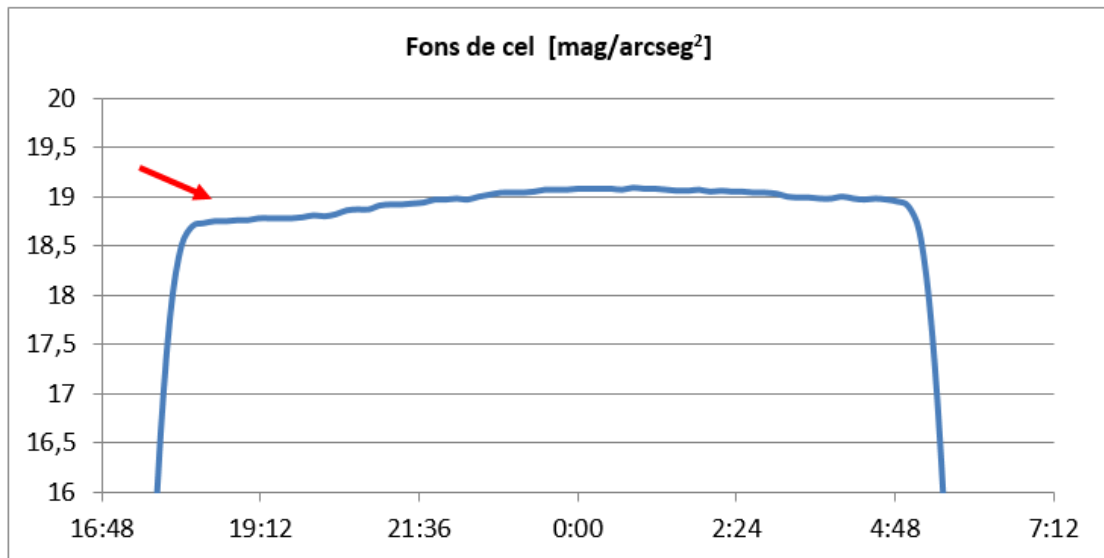


Mapa de fons de cel a l'AMB. Marcat en vermell la zona on hi ha possibilitats de trobar cel on veure mínimament la Via Làctia

Posats en context, però, els valors globals són típics de regions metropolitanas on no s'han aplicat específicament polítiques de control de les repercussions de la contaminació lumínica (tals com Madrid, o Vienna).

B) Els anàlisis temporals no proporcionen diferències significatives importants al llarg de la nit de forma generalitzada. Tot i que es detecta un increment de dos a quatre dècimes, no és significatiu ni soluciona la problemàtica, per l'important "problema de fons" existent.





Algunes corbes temporals en dies clars que es poden consultar en detall i complertes a annexes o l'apartat 4. Marcat amb una fletxa les zones d'increment reduït de foscor.

Als dos gràfics anteriors es pot veure com evoluciona la foscor de cel (en eix vertical) en l'hora UTC d'un dia de bones característiques per observació nocturna (sense lluna ni núvols). Es pot observar que des de l'inici hi ha un increment en la foscor, fins a l'hora de baixa activitat humana (a partir de mitjanit i bastant clarament mantinguda en el temps). Això vol dir que l'apagada de sistemes d'enllumenat (camps esportius, centres comercials, fàbriques, etc.) i reducció de nivell en hores de baixa utilització (carreteres, carrers a les ciutats, aparcaments...), incrementa la foscor general a l'AMB. **El fet de l'increment de la foscor en horaris de baixa activitat es repeteix a tots els punts de mesura instal·lats i sempre a hores semblants.**

Tot i això, la problemàtica general es manté. No s'aconsegueixen valors propers a 20 mag/arc·sec⁻² a les zones analitzades. La causa és de font estructural i extensió territorial existent.

C) Hi ha instal·lacions singulars que incrementen puntualment la contaminació al seu voltant, a vegades a nivells difícilment justificables amb la tecnologia actual. En zones protegides pot crear un problema a l'ecosistema adjacent, creant zones de barrera, rebuig, protecció... en tot cas, de modificació de l'ecosistema natural. Els nivells lumínics superiors a 0,2 lux poden ser problemàtics per algunes espècies, però superiors a 1 lux i SOBRETOT, la presència de punts d'alta luminància, tenen especial repercussió negativa en els éssers vius.

Aquest tipus d'instal·lacions, quan són industrials, ornamentals o lúdiques, acostumen a ser il·luminades amb llum blanca, especialment problemàtica per l'ecosistema en general. Així doncs, es creen zones d'impacte i fricció important a distància d'aquestes zones d'activitat. La repercussió a l'entorn pot ser molt important. Tal com es referència als valors mostrats a l'apartat 2.3 *Enfocament particular. Afectació als éssers vius i als ecosistemes naturals*, els valors obtinguts d'impacte ocasionen una alteració important a espècies nocturnes.

D) L'anàlisi de cúpula celeste a través d'ASTMON crea un nivell de referència i demostra l'aportació de la zona de Barcelona i rodalies com a font més important del fenomen: Les mesures d'ASTMON, de qualitat astronòmica han estat desenvolupades amb dos objectius principals:

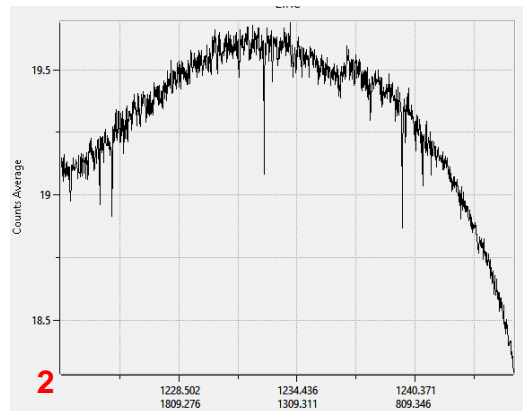
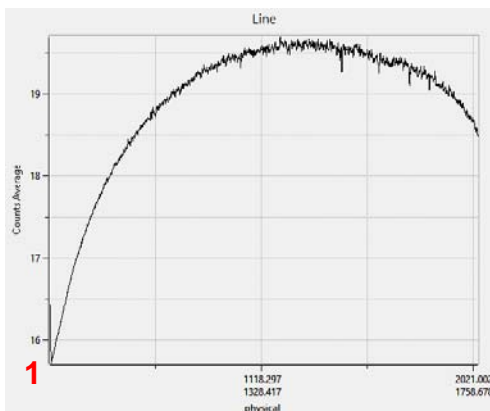
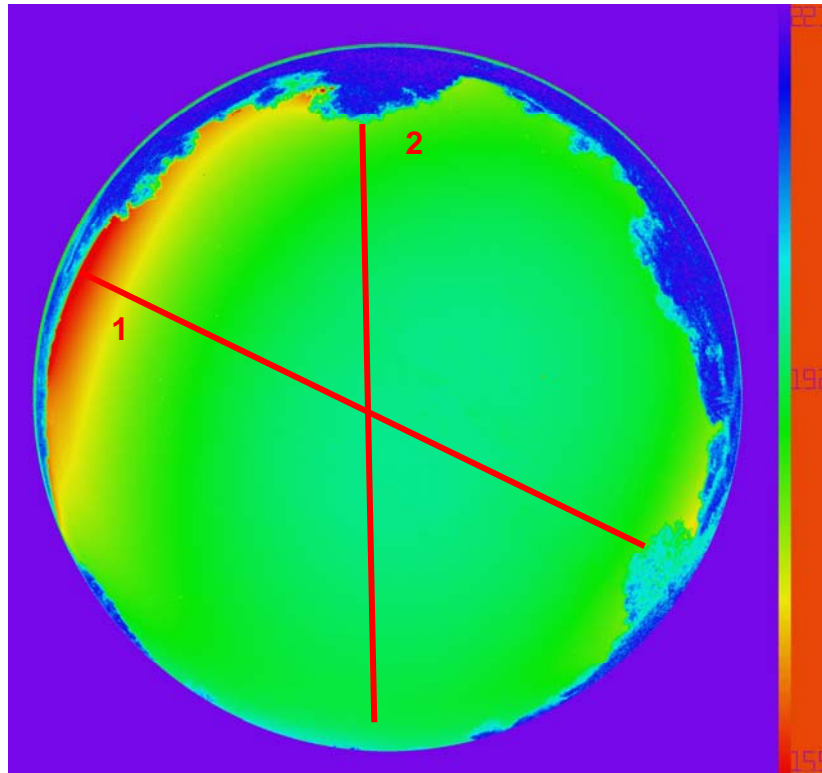
- Poder tenir un marc de referència calibrat i de qualitat per tal de mesurar, i determinar la contaminació lumínica actual al cel, així com ser un punt de referència per comparacions futures posteriors i avaluar l'evolució de la problemàtica.
- Determinar qualitats en diferents espectres i direccions.

De les mesures realitzades es poden obtenir els següents resultats resum:

- Amb caràcter general, els valors es corresponen als mesurats amb SQM (que té un espectre similar al V) analitzat.
- Es pot observar que als llocs on s'ha mesurat amb diferent filtre els espectres més perjudicats són els R i els més foscos són els B. És a dir, està més contaminada la banda dels vermells que la dels blaus. Això és lògic i correspon amb la majoritària instal·lació de làmpades de tons groguencs i ataronjats. A mode d'exemple es mostra la taula de la mesura al P. N. Garraf:

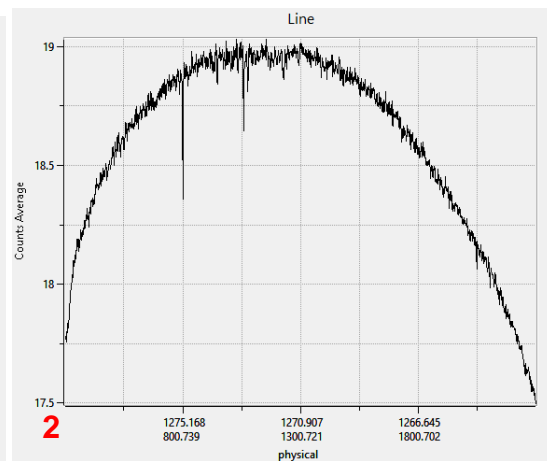
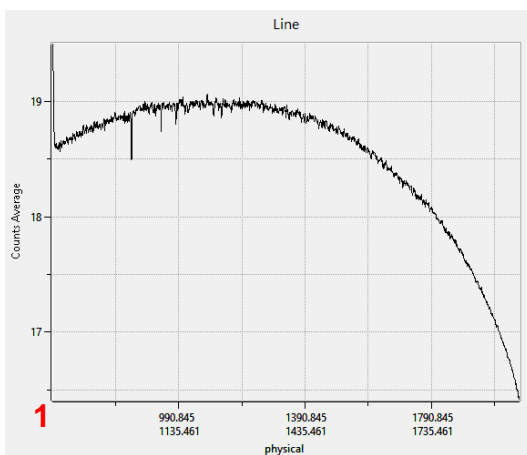
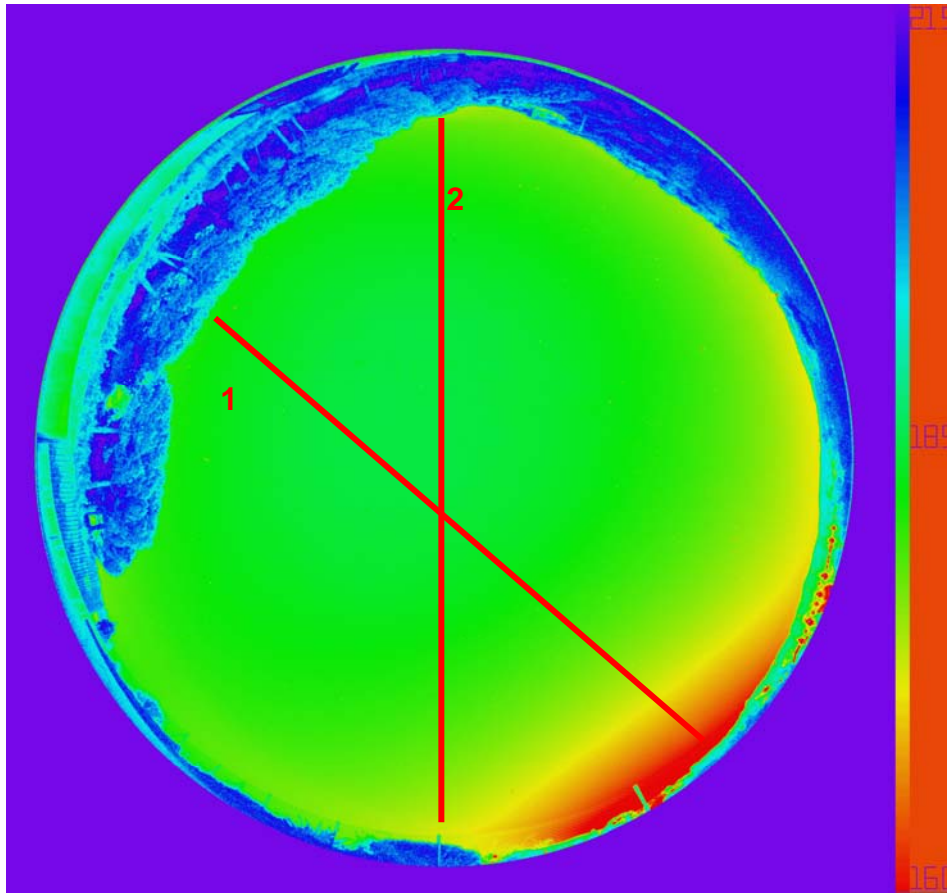
SB (mag/arcsec ²)						
Arxiu de mesura	Zenit	45° N	45° E	45° S	45° O	Filtre
20141021_194310	19,54	19,09	18,79	19,39	19,40	V
20141021_193742	21,37	20,94	20,73	21,19	21,33	B
20141021_194835	19,02	18,55	18,26	18,90	18,88	R

També es pot observar la major aportació de contaminació lumínica des de la zona de Barcelona, omnipresent a tota l'AMB i majoritàriament, la font principal de contaminació a les zones més allunyades i a les protegides. A continuació es mostra l'anàlisi de resultats en espectre V de: P. N. Garraf i Observatori de Tiana, com a punts de més qualitat e interessants per a l'avaluació i referència posterior:



Resultats del tractament de mesures a P.N. Garraf amb filtre V (21/10/2014 19:42 UTC)

De l'anàlisi es pot determinar que tant en aspecte visual, com analitzant línies de valors, la contaminació més important prové d'on està el número 1 (Barcelona), i la línia d'anàlisi dona que hi ha un increment de fons de cel en la cúpula celest. Aquest valor és el que determina principalment el màxim valor aconseguit al zenit. Una altra línia d'anàlisi, per exemple la 2 amb direcció Nord- Sud, dona valors inferiors e increments més suaus de foscor de cel.



Resultats del tractament de mesures a Tiana amb filtre V (23/10/2014 21:46 UTC)

Amb resultats anàlegs al punt anterior, es pot veure que la contaminació també prové en major efecte en direcció Barcelona (molt més inclús que els nuclis més propers), i que és el centre emissor contaminant més important. També aquí en aquests resultats es mostra la ciutat de Barcelona i les ciutats més properes com la font més gran i de repercussió més important de caràcter global a l'AMB.

A mode de resum: Existeix a l'AMB un "bel lumínic" que cobreix quasi tota la superfície dels 636 km². Aquest tel crea una brillantor de cel que es tradueix en un nivell lumínic de fons que il·lumina tènuement tota la regió.

En general, els espais naturals estan amenaçats per la proximitat de les zones urbanes, industrials, grans infraestructures de transport, servei, etc. En particular, pels tipus de contaminació com la lumínica i sonora, que dificulta l'activitat de les zones i empobreix la seva població i diversitat. Els esser vius han de protegir-se mitjançant zones barrera com l'arbrat, arbustos i similar. Les espècies d'activitat nocturna com els ratpenats i algun rosegador nocturn, estan amenaçats i la manca de fosc dificultatà la seva proliferació.

La no presència d'espècies que podrien ser comunes als entorns mediterranis (com la cuca de llum, que és molt sensible a petites presències lumíniques), no podran recuperar-se sense ajuda d'elements protectors de l'hàbitat (com cobertura forestal o similar).

6.2. Estat de les instal·lacions d'enllumenat actuals

Les instal·lacions d'enllumenat a l'AMB estan en general en millor estat i estan més optimitzades que a la resta de Catalunya i l'Estat. La presència de municipis grans i l'existència de la Llei 6/2001 per a l'ordenació del medi nocturn han facilitat aquest aspecte.

A mode de resum, i recollint les dades més importants de l'apartat 3.2 tenim les següents dades:

L'AMB té un 27% dels punts de llum que hi ha a Catalunya i un 24% de la potència en un 2% de la superfície i donant servei lumínic al 42,8% de la població.

El total de flux lumínic emès cap al cel són 312 Mega lúmens, un valor molt elevat, que fa que la brillantor es pugui veure, des del punt de referència a Catalunya, a més de 100 km: l'Observatori Astronòmic del Montsec.

Les dades mitges són 127 W/p.l i 6 punts de llum per habitant.

En general són valors més eficients que a la resta de Catalunya, però d'una elevada repercussió a l'entorn d'implantació per la **concentració** del (com s'ha comentat) un 24% de la potència instal·lada en un 2% del territori.

El Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya, a través del Grup de Treball d'Il·luminació i en col·laboració amb la Universitat Politècnica de Catalunya, va fer per Generalitat de Catalunya una recopilació de les Millors Tecnologies Disponibles en l'enllumenat públic a l'any 2012. D'aquest es desprèn el potencial de les tecnologies d'enllumenat actual en els camps de:

- Làmpades: Amb les fonts de llum tipus LED, i descàrrega d'última tecnologia.
- Lluminàries: Amb òptiques més eficients, lents integrades als LED's.
- Equips electrònics de baixes pèrdues i regulables.
- Sistemes de gestió i telegestió de les enceses i reduccions del nivell.
- L'elecció intel·ligent i ajustada dels nivells lumínics segons la necessitat real del ciutadà. No ha estat àmbit d'aquest treball, però és conegut i utilitzat per les Empreses de Serveis Energètics i les auditories energètiques, que el

potencial de nivell lumínic de servei és important i pot repercutir directament en la factura energètica i la contaminació lumínica.

És per això que es preveu que el potencial de millora pugui situar les dades de potència mitja per punt de llum de **127 W/pll a una xifra clarament inferior a 100 W/pll**.

L'ús de làmpades grogues o de tonalitats càlides actuals (d'un percentatge majoritari) ha de mantenir-se. La possible i futurible utilització de tecnologies amb llum blanca rica en blaus pot ser font d'un increment de la problemàtica en tot el seu ventall de repercussions.

Tot i que tampoc no és abast directe de l'estudi, les instal·lacions industrials, o singulars de gran mida, no tenen sistemes específics de protecció a zones naturals. El seu nivell lumínic de llum intrusa és a vegades excessiu i l'ús de la llum blanca pot ser indiscriminat. És necessària una revisió d'aquest tipus d'instal·lacions que creen una repercussió directa important als espais natural protegits.

7. ACCIONS CORRECTORES RECOMANADES

Tal com s'ha vist en l'apartat anterior, la problemàtica està dividida en la diversitat de fonts contaminants, i l'extensió territorial. Les causes són estructurals en referència a la política urbanística de país i a les característiques d'una típica zona metropolitana.

Això origina que sigui difícil assolir una solució òptima a nivell global sense tenir en compte els **diferents actors** que intervenen en la gestió de les instal·lacions d'enllumenat:

- Ajuntaments: Responsable en la gestió de l'enllumenat públic de carrers, instal·lacions esportives...
- Ministeri de Foment, Generalitat de Catalunya o altres ens a infraestructures i instal·lacions de bé públic: Gestors d'autopistes, Aeroports, Port, telecomunicacions...
- Sector industrial: Indústries en general, tant comunes a tota l'AMB.
- Sector comerç i serveis: Estadis esportius de primer nivell, cartells publicitaris, horari d'encesa.
- Ciutadania en general. Que són els que demanen i justifiquen la presència de certs nivells i instal·lacions lumínics, per desconeixement de la problemàtica.

I sempre **tenint en compte**:

- Les zones protegides i sobretot les actualment més afectades per la problemàtica: Zona nord del PN Collserola, PN Garraf i sobretot Espais Naturals del Delta del Llobregat.
- La tecnologia actual i la seva evolució: LED's, halogenurs metàl·lics, i altres sistemes lumínics i la seva gestió.
- La singularitat i trajectòria de l'AMB: El creixement, la urbanització i la política expansiva i de sostenibilitat.
- L'ús dels espais i l'activitat diürna i nocturna de tots els municipis i les seves instal·lacions.

Una acció en una sola direcció pot mitigar lleugerament la problemàtica, però degut a l'alta densitat d'urbanització industrialització i ús intensiu en superfície, fa impossible la reducció significativa general de la problemàtica. És per això que les accions van encaminades a assolir els **següents objectius**:

- Accions estructurals: Reduir problema de fons: A gran part de l'AMB hi ha valors de fons de cel inferiors a $19 \text{ mag/arc}\cdot\text{sec}^{-2}$. Valors similars a zones de les mateixes característiques. És difícil trobar un entorn natural realment fosc, tant en cel com en hàbitat (el cel fa d'emissor difús cap a l'hàbitat natural). És per això que es proposaran una sèrie d'accions estructurals per tal de disminuir la brillantor "residual", o "bel lumínic", i poder augmentar el valor per sobre de $19 \text{ mag/arc}\cdot\text{sec}^{-2}$. Aquestes mesures aniran lligades de la ma de l'eficiència energètica, de forma que tindran una recuperació de la inversió en forma d'estalvi del cost del subministrament energètic. El període de recuperació de la inversió depèn de cada cas concret i cada grup gestor d'instal·lacions.
- Accions d'acció directa al medi: Mitigar l'afectació directa de grans instal·lacions: Mesures de correcció i disminució de les repercussions directes d'instal·lacions singulars que poden impactar directament i per proximitat a zones sensibles.

- Informació, divulgació i singulars: Conscienciació ciutadana i accions de divulgació així com recomanacions per l'ús adequat de les noves tecnologies a lluminàries i fons de llum poc agressives tant general com en zones properes a parcs naturals.

Amb caràcter general, totes les accions aporten avantatges i inconvenients:

Beneficis:

- Disminució de la repercussió medi ambiental de la llum: Recuperació de l'Hàbitat natural.
- Disminució de consum energètic.
- Disminució de cost associat al consum.
- Sensibilització vers a la ciutadania de la problemàtica, una problemàtica "molt visible" i que té molt bona entrada per a la motivació medi ambiental.

Desavantatges:

- Inversió inicial
- Xoc cultural amb la cultura mediterrània en determinades instal·lacions singulars
- Contrast lumínic en zones contigües i possibilitat de rebuig per comparació

Així doncs les accions proposades són:

7.1. Accions estructurals

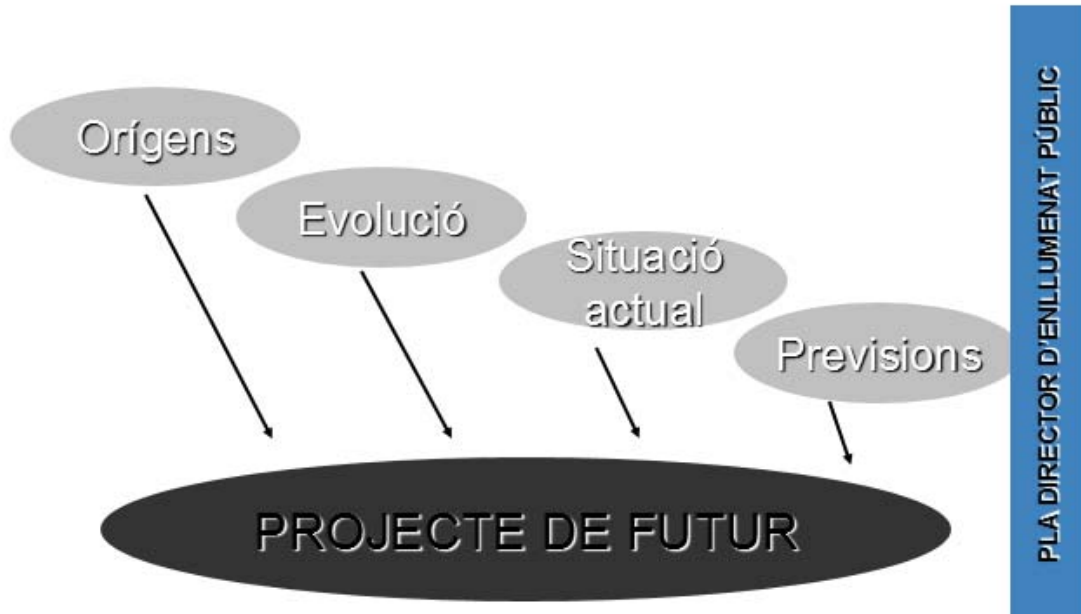
La gran aportació a la contaminació lumínica està repartida per tot el territori. La gran proporció de territori urbanitzat fa que el servei d'enllumenat públic estigui generalitzat a molta porció del territori. Les solucions doncs han d'estar encaminades a gestionar el servei de la forma més eficient i sostenible possible.

PLA DIRECTOR PER L'ENLLUMENAT PÚBLIC DE L'AMB:

Un gran acord en el que fa a la gestió de l'enllumenat on s'estableixi una política de nivells lumínics i sistemes d'enllumenat que persegueixin a llarg termini minimitzar la potència instal·lada i homogeneïtzar la tipologia de làmpades que es fan servir. La gestió de l'enllumenat és municipal, i té unes característiques molt particulars per cada tècnic i població. Es pot veure un exemple a l'anàlisi del color de la llum, on hi ha municipis que fan servir majoritàriament la llum blanca i altres llum groga. El Pla Director d'Enllumenat AMB no pretén ser una llei taxativa per limitar l'autogestió municipal, sinó un document d'acord de línies de treball amb els següents criteris objectius:

- Garantir el servei lumínic al ciutadà
- La reducció de costos operatius: Manteniment i energètics
- La sostenibilitat mediambiental
- L'adequació i actualització amb les noves tecnologies

Creant un projecte comú de futur a partir de la realitat de la situació actual i els condicionants externs.



IMPLANTACIÓ D'UN SISTEMA D'INVENTARI GENERAL:

Els actuals sistemes de telegestió proporcionen la possibilitat d'observar, detectar i actuar sobre els receptors energètics. Actualment, és possible realitzar una acció punt a punt de llum segons els condicionants d'ús i entorn (necessitats específiques, horaris, etc.). Tot i això, la implantació punt a punt de forma generalitzada encara és costosa.

Es proposa un sistema de gestió de l'enllumenat municipal basat en un control a nivell de quadre de maniobra, de forma que es pugui proporcionar l'encesa, apagada i reducció necessària en cada moment, per tal d'ajustar-se el servei i limitar les repercussions en cada moment.

Actualment hi ha sistemes de telegestió implantats en diferents municipis, amb un ús i resultats molt bons. La ciutat de Barcelona per exemple és un clar exponent de la seva viabilitat.

SOL·LICITAR UN ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL LUMÍNIC PER GRANS REFORMES D'INSTAL·LACIONS:

El cicle de vida d'una instal·lació és llarg. En enllumenat públic pot estar de l'ordre de 25-30 anys. Aquesta és una altra raó, per la que fer una reforma correctora és sovint molt complicada i lenta.

Actualment s'està fent una política de renovació d'instal·lacions important, tenint en compte un moment en què conflueixen diferents factors: La possibilitat de negoci de les Empreses de Serveis Energètics (ESE's) i la tecnologia emergent que promet grans estalvis. Són molts municipis de l'AMB que han apostat per aquesta fórmula, i és possible que sigui d'aquesta manera o amb recursos propis (com Barcelona), es renovaran instal·lacions de forma important en els propers anys.

Els costos d'inversions i les operatives són grans, i es proposa que en el cas d'una reforma d'una instal·lació de Potència instal·lada actual en enllumenat superior a 100 kW, sigui obligatori la presència d'un Estudi d'Impacte Ambiental Lumínic que minimitzi les repercussions de la solució final aportada.

Aquesta acció és una forma de mantenir el control i la guia de funcionament homogènia a grans obres o reformes.

SUBSTITUCIÓ DE LLUMINÀRIES CONTAMINANTS (FHSi>15%):

La contaminació lumínica es genera pel flux lumínic cap a zones que haurien de garantir la seva foscor natural nocturna. A Catalunya, des de l'any 2001 hi ha la Llei de protecció del medi nocturn (Llei 3/2001 del Parlament de Catalunya), que ha reduït molt el número de lluminàries molt contaminants. Tot i això encara queden lluminàries obsoletes, contaminants i que suposen una important despesa energètica.

És per això que es proposa la substitució d'aquestes lluminàries de Flux Hemisfèric Superior instal·lat (FHSi) >15% per d'altres que emetin el flux lumínic només cap a l'hemisferi inferior.

LLUMINÀRIES FHSi elevat	LLUMINÀRIES FHSi reduït
	
	
	
	

Il·lustració de tipologia de canvi

La determinació del número de lluminàries que es veurien afectades és difícil degut a la manca de dades en aquest sentit. Tot i això, a mode d'estimació d'ordre de magnitud es considera que hi ha un màxim d'un 25 %² de lluminàries de FHSi>15% . Això són 95.380 unitats a l'AMB.

La competència d'aquest canvi és municipal i la difícil situació financera actual fa difícil poder materialitzar la inversió necessària, tot i tenir un retorn econòmic sovint inferior a 7 anys.

² Dada estimada a partir de l'"Estudi per Valorar l'Impacte a Catalunya del Reglament de desenvolupament de la Llei 6/2001, d'ordenació ambiental de l'Enllumenat", encarregat per la Generalitat de Catalunya datat al desembre de 2013.

IMPLANTACIÓ DE SISTEMES DE REDUCCIÓ DE NIVELL LUMÍNIC:

La foscor del cel, i per tant també dels espais naturals, té diferent valor al llarg de la nit. Tal com s'ha vist anteriorment, a partir de mitjanit aproximadament, hi ha uns valors més alts de foscor: entre 0.2-0,4 mag/arc·sec⁻². Això és degut a l'apagada de sistemes que es fan servir en horari vespre (zones esportives, cartells, etc...) i també degut a la reducció del nivell lumínic de l'enllumenat públic.

Aquesta reducció de nivell ja és obligatori per instal·lacions superiors a 5 kW segons el "Real Decreto 1980/2008 del 14 de noviembre", però degut a la inèrcia de la vida de les instal·lacions, encara hi ha moltes que no en disposen.

Aquests sistemes poden ser de diferent tipus:

- A nivell de quadre de maniobra:
 - o Regulació en capçalera: Sistema dintre del quadre de maniobra, que a partir de la variació de la tensió d'alimentació, regula la sortida lluminosa.
 - o Regulació punt a punt: El quadre envia una senyal per un fil conductor que fa que una reactància específica a cada punt de llum faci la regulació. En aquesta solució cal un sistema de dades al quadre, un fil conductor, i una reactància de regulació de doble nivell per fil conductor.

- A nivell de punt de llum:
 - o Control punt a punt: Integrat en el sistema de telegestió, i permet controlar en cada moment el punt de llum segons les necessitats i disponibilitats tecnològiques
 - o Reactàncies electròniques regulables programades: Un equip auxiliar que substitueix l'actual, i permet poder regular el nivell lumínic en funció d'un algoritme de càlcul que té programat al seu interior.

Estudis preliminars mostren que la majoria de l'enllumenat de l'AMB no disposa d'aquest sistema. Caldrien dades de detall per avaluar el seu impacte. Però normalment, tant la recuperació econòmica com la viabilitat tècnica facilitarien la seva implementació.

7.2. Accions d'afectació directa al medi natural

Tal com s'ha pogut determinar a les mesures realitzades a les 4 instal·lacions estudiades, una activitat amb servei lumínic durant la nit pot ser projectada amb consideracions ambientals o no. La no consideració de l'aspecte ambiental de la llum pot crear importants friccions a zones sensibles.

SOL·LICITAR ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL LUMÍNIC A ZONES SENSIBLES:

Es recomana un estudi preliminar al projecte de les instal·lacions, ja sigui en el Estudi d'Impacte Ambiental si la legislació així ho requereix, o a la llicència municipal d'activitats.

La inclusió d'aquest tipus d'estudi pot ser problemàtic per determinades instal·lacions, però s'ha vist que a llocs foscos, pot haver-hi afectacions importants (com a la instal·lació del P.N. Garraf).

Per tant, es recomana sol·licitar Estudi d'Impacte Ambiental Lumínic que tinguin com a objectiu determinar la solució de mínim impacte, a tota nova instal·lació que estigui o passi per zona E1 o estigui a menys de 500 m amb una potència instal·lada en enllumenat superior a 10 kW o un nivell d'il·luminació a projecte superior a 50 lux.

CONTROL DE NOVES INSTAL·LACIONS EN ZONES PROPERES A ZONES SENSIBLES:

Promoure l'ús de làmpades poc contaminants (espectre groguenc no blanca) i lluminàries cut-off en zones properes a zones protegides. Fer un radi de protecció de 300 metres a les fronteres de Parc Natural. Sempre i quan l'activitat ho permeti.

CORRECCIÓ A ZONES PROBLEMÀTIQUES I DE FRICCIÓ:

S'han detectat zones de fricció al territori, que poden ser problemàtiques pels espais naturals de l'AMB. Per tal de:

- Reduir l'afectació directa a l'ecosistema
- Permetre divulgar la viabilitat tècnica i econòmica de les solucions reductores de Contaminació Lumínica, i
- Evitar problemes de contrastos o enlluernaments generalitzats.

Es proposa la reforma o adequació de les instal·lacions d'enllumenat de: Aeroport del Prat, Port de Barcelona, urbanitzacions de les zones nord del P.N. Collserola, Peatges de la C-16 dintre del P.N. Collserola, zona d'antenes del Garraf...

Amb aquestes reformes es busca reduir la fricció més important determinada a la zona d'estudi. Les accions poden ser en diferents camins, en funció de la casuística de cada zona - ús - instal·lació:

- Control horari d'encesa i apagada
- Reducció de nivells als necessaris
- Adequació de Lluminàries o projectors, evitant l'emissió directa al sistema sensible. Amb sistemes òptics avançats (per exemple tipus LED PC-Ambre) o sistemes d'apantallament (tipus paralúmen o reixeta antienlluernant)
- Canvi de làmpades a altres poc contaminants (normalment de blanques a grogues, si l'activitat ho permet).

7.3. Accions d'informació, sensibilització i singulars

Les accions de coneixement i divulgació són imprescindibles per tal que un servei com el de l'enllumenat nocturn sigui conegut i reconegut. Les accions van encaminades a dos actors: ciutadà i tècnic municipal; i en dues tipologies: campanyes informatives i de reforma d'instal·lacions.

CURSOS DE FORMACIÓ I CENTRAL DE DADES:

La problemàtica és relativament recent, i la seva comprensió augmenta. Des de l'any 2000, quan es va presentar el "Pla Pilot d'Avaluació de Contaminació Lumínica a Catalunya" han variat tots els factors: Equips de mesura, tecnologia lumínica, reglamentació, coneixement de la seva problemàtica i repercussions...

És per això que per tal que els actors encarregats de la gestió de l'enllumenat públic pugui conèixer la problemàtica i forma d'avaluar les repercussions, forma de disminuir la font contaminant, i les últimes i millors tecnologies disponibles per optimitzar la gestió general del servei es plantegen:

- Cursos de formació per a la minimització de la contaminació lumínica i implantació més enllà del nou reglament de contaminació lumínica.
- Informar i crear dades per informar als municipis del potencial de millora i reducció de la contaminació lumínica i consum energètic del municipi, de forma que qualsevol municipi hi pugui fer referència per conèixer la seva situació respecte als municipis propers i les últimes tecnologies de mercat.

CAMPANYES DE CONSCIENCIACIÓ CIUTADANA:

El ciutadà sovint no coneix la problemàtica, i té la inèrcia d'identificar enllumenat brillant i abundant amb un bon enllumenat. Un exemple clar son les llums de nadal, o les imatges nocturnes facilitades per canals de notícies i programes de divulgació meteorològica.

Qualsevol canvi que es vulgui realitzar a nivell estructural o d'un element representatiu ha de comptar amb l'acceptació dels grups socials i econòmics.

La informació d'aquests grups es pot fer de diferent forma. A continuació se'n presenten algunes:

- Jornades monogràfiques:
 - Plantada de telescopis.
 - Concursos fotogràfics de medi natural nocturn (Instagram o similar)
 - Sortides per veure "la bona il·luminació" i "els punts brillants naturals", etc.
 - Llum blanca Vs. Llum groga. Pros i contres. El coneixement del sistema circadiari dels mamífers i en especial d'humans.
 - Coneixement del medi natural nocturn: Observar com es mouen i comporten els animals durant la nit. Quina fauna i flora hi ha i quin comportament té.
- Fomentar la repoblació d'un espai natural (Hauria de ser actualment el P.N. del Garraf o una zona prou amagada i apantallada de Can Balast) amb espècies nocturnes (cuques de llum, salamandres...). L'objectiu seria fer estudis dels instituts de secundària sobre la seva vida, població, evolució, etc.

REFORMA D'INSTAL·LACIONS SINGULARS:

La millor forma de poder representar el canvi i disminució d'una petita zona representativa i fer difusió mitjançant la reforma.

Algunes d'aquestes reformes o adequacions podrien ser:

- Platja d'El Prat de Llobregat, Viladecans, Masnou...
- Vial d'accés a la T1 de l'Aeroport a la zona d'aparcament de llarga durada
- Carreteres A-2 i altres al pas pel Riu Llobregat, Besòs... (només les zones de pas)
- Enllumenat ornamental (Basílica del Sagrat Cor al Tibidabo, Ermita de Sant Ramon a Sant Boi...)
- Torre de les aigües de Cornellà
- Petites reformes i adequacions al municipi de Begues, que és on està l'entorn més fosc de l'AMB.

CREACIÓ DE LA FIGURA "PARC ESTEL·LAR" DE STARLIGHT:

Starlight és una iniciativa de la **UNESCO**, que ha declarat el cel nocturn com a bé de la humanitat (<http://starlight2007.net/index.php?lang=es>). En la IA 2009 Resolució B5.

En relació a aquesta iniciativa, Starlight declara espais d'excel·lent fosc d'entorn natural, com ha fet amb la Illa de La Palma o la serra del Montsec a Catalunya. A l'AMB no hi ha cap entorn de prou qualitat nocturna per ser declarat "Reserva Starlight", però amb l'orientació divulgativa i de sensibilització, es proposa adoptar la figura de "Parc Estel·lar" (<http://www.starlight2007.net/pdf/StarParkES.pdf>).



Aquesta figura es declarat un espai on es poden fer activitats, observacions astronòmiques, coneixement de la fauna nocturna... Les seves exigències són mínimes, i és suficient a poder tenir la qualitat que hi ha l'AMB.

Són espais dedicats a la divulgació, i es promouen activitats con el comptatge d'estels, observació a ull nu, etc.

Es proposa la sol·licitud de creació Parc Estel·lar de Starlight per:

- P.N. Garraf com a zona més fosca
- Muntanya de El Tibidabo, com a punt més alt i representatiu de Barcelona.

8. CONCLUSIONS

En el present treball s'ha analitzat la informació facilitada d'enllumenat públic, i s'ha realitzat un extens treball de camp per avaluar la situació actual de la Contaminació Lumínica a l'AMB i el seu impacte sobre el territori. Aquest treball ha constatat de:

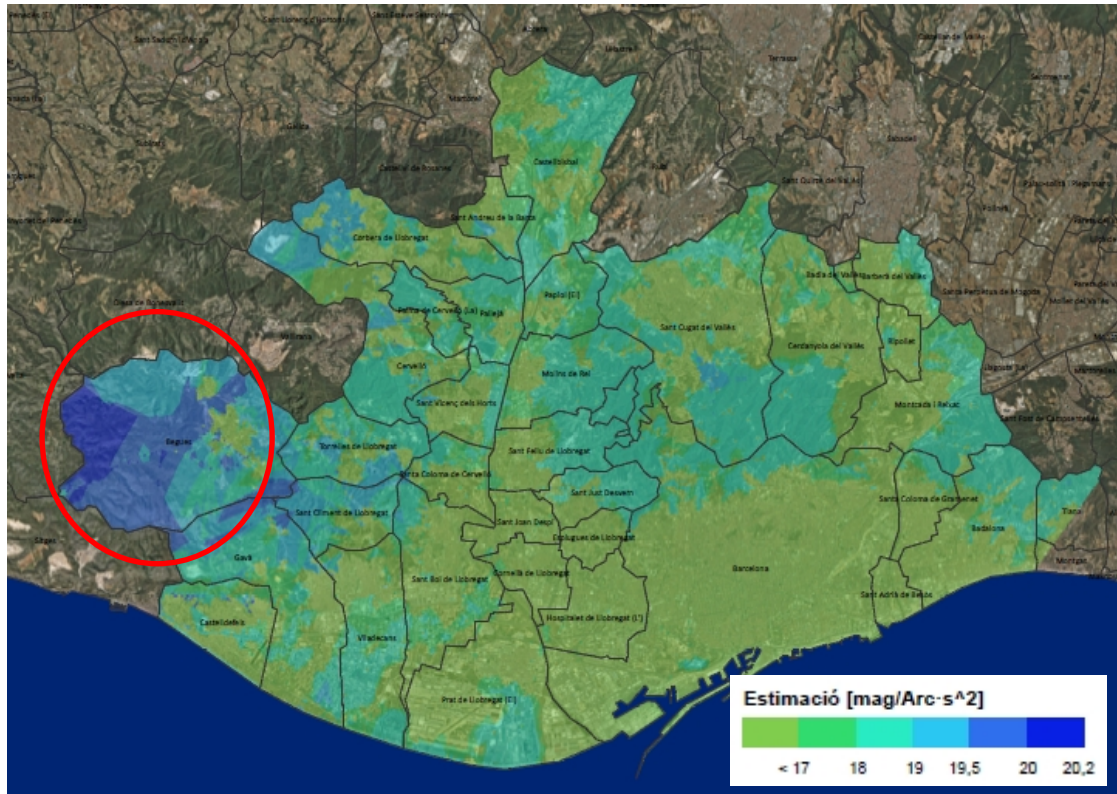
- Recorregut per la majoria de carreteres i algunes pistes forestal de l'AMB per determinar la brillantor del cel nocturn en condicions de nit astronòmica, i amb l'objectiu de tenir una imatge de conjunt de la zona.
- S'han realitzat mesures en instal·lacions singulars potencialment contaminants, per avaluar la seva alteració del medi natural, especialment en medis sensibles o zones de fricció (sempre a Parcs Naturals o rius) amb la intenció de determinar l'afectació puntual propera d'una instal·lació gran o potencialment problemàtica a 4 instal·lacions.
- Mesures de qualitat i de referència per una avaluació futur de la evolució de la problemàtica mitjançant el dispositiu ASTMOM, a 8 ubicacions.
- Avaluació de l'evolució de la foscor en funció de l'hora de la nit. A 6 ubicacions.

Les conclusions que s'extreuen de l'anàlisi realitzat són:

Hi ha **una qualitat de l'entorn natural nocturn pobre**, degut a la gran densitat d'urbanització i concentració d'ús dels espais, però també a un disseny i a vegades ús inadequat de les instal·lacions d'enllumenat.

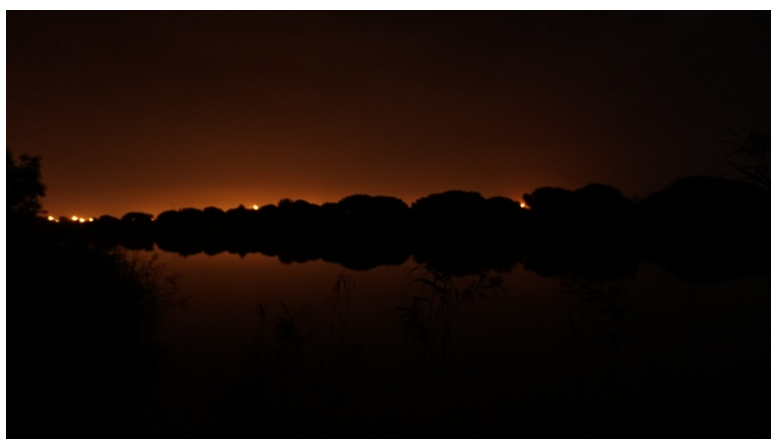
Amb caràcter general, cal anar a **Begues, a l'extrem sud de l'AMB i protegits dels pics més alts del P.N. del Garraf, per arribar de forma continuada a valors de foscor del cel i d'ecosistema nocturn, propers als naturals** (valors superiors a 20 mag/arc·sec⁻². La resta de l'AMB està sota un tel de brillantor del cel, amb valors inferiors als 19 mag/arc·sec⁻², que es 13 vegades superior a la foscor natural del cel. Aquest fet ocasiona:

- Una **pobre visió del cel** per part del ser humà o els éssers vius que el fan servir per les seves activitats, principalment d'orientació (insectes, aus, etc.)
- Un nivell lumínic residual als ecosistemes naturals, doncs la cúpula celeste es comporta com un emissor de llum difús i constant, que sovint arriba a tenir nivells similars als de la lluna. Per tant, aclarint la foscor dels hàbitats naturals. Aquests **entorns foscos queden reduïts a llocs amb cobertura forestal** o similar, a l'ombra de la brillantor del cel.



Mapa de fons de cel a l'AMB. Marcat en vermell la zona on hi ha possibilitats de trobar cel on veure mínimament la Via Làctia

Els punts on hi ha instal·lacions singulars, hi ha un increment de l'impacte a l'entorn més proper. Es crea una "ILLA DE LLUM", que pot originar valors superiors a 0,5 lx a centenars de metres. Aquest efecte d'impacte directe, **sovint es pot reduir de forma senzilla i moltes vegades amb un retorn de la inversió gràcies a la reducció del cost energètic.**



Brillantor i llum intrusa als Espais Naturals del Delta del Llobregat

Aquests valors de brillantor natural o intrusió lumínica són de valors semblants a altres grans àrees metropolitanes (Hong Kong, Madrid, Viena), on la singularitat i intensitat d'urbanització i activitat econòmica fa impossible reduir a valors molt foscos de l'entorn natural, però sí clarament millorables.

Respecte al que es dedueix de l'estudi de la font contaminant: Enllumenat públic a l'AMB representen un 27% dels punts de llum que hi ha a Catalunya, amb un 24% de la potència en un 2% de la superfície i donant servei lumínic al 42,8% de la població.

El 72% de les fonts de llum analitzades són de vapor de sodi, és a dir, làmpades poc contaminants.

Aquest enllumenat emet cap al cel 312 Mega lúmens, o el que és el mateix quasi 4.000 projectors de 1000W com els que es fan servir per il·luminar camps esportius.

A més, cal comentar que hi ha una **proliferació preocupant d'instal·lacions de fons de llum blanca**. Aquest factor pot representar un increment de la Contaminació Lumínica en un futur proper. La llum blanca té un impacte lumínic superior tant en la dispersió per l'atmosfera, alteració dels ecosistemes naturals, i l'ésser humà.

Amb tot aquesta magnitud de la font contaminant i de les seves repercussions, es proposen una sèrie d'accions per reduir i mitigar la problemàtica, tant des del punt de vista tècnic, tecnològic i social:

ESTRUCTURALS:	
Pla Director d'Enllumenat Públic a l'AMB	Document gestor principal de l'Enllumenat públic
Estudi d'Impacte Ambiental Lumínic grans instal·lacions	Avaluació de grans reformes, sobretot grans reformes d'enllumenat estil ESE
Substitucions de lluminàries més contaminants	Pla a nivell municipal per substituir les lluminàries més problemàtiques.
Implantació sistemes telegestió	Control d'encesa i reducció de les instal·lacions.
Sistemes de reducció de nivell lumínic	Baixar els nivells de llum a horaris de poc ús de les vies, per minimitzar les repercussions en horari posterior a mitjanit

ENFOC A ZONES SENSIBLES:	
Estudi d'Impacte Ambiental Lumínic a zones sensibles	Inclòs a projectes d'Estudi d'Impacte Ambiental, llicència municipal d'activitat o similar.
Control de noves instal·lacions properes a zones sensibles	En un radi de 300 metres al lindar amb les zones naturals sensibles.
Correcció d'instal·lacions problemàtiques a zones de fricció	Estudi de la minimització d'impacte de l'Aeroport de Prat, Port de Barcelona, A-2, C-16...

DIVULGACIÓ I SENSIBILITZACIÓ:	
Cursos de formació i jornades:	Formació a tècnics municipals, xerrades monogràfiques...
Campanyes de conscienciació ciutadana	Xerrades, plantació de telescopis, visites de l'entorn natural nocturn, introducció de fauna nocturna a ecosistemes (cuques de llum...)
Reforma d'instal·lacions singulars	A prop de Begues com a zona més fosca, Ermita Sant Ramon...
Creació de la figura "Parc Estel·lar" de la fundació Starlight de la UNESCO	A Begues i /o muntanya del Tibidabo

De forma que amb la seva implementació, i tenint en compte els diferents actors implicats a l'enllumenat es podria reduir la problemàtica i minimitzar les repercussions actuals. Sempre amb el criteri de fer la difícil tasca compatibilitzar l'ús intensiu de l'espai d'una típica zona metropolitana, amb l'ecosistema natural nocturn, entorn natural sovint oblidat.

ÍNDIX D'ANNEXES

(En format electrònic i en document a banda)

Índex d'annexes:

A. Bibliografia sobre repercussions a ecosistemes i éssers vius

B. Enquestes d'enllumenat rebudes

C. Càlculs del focus contaminant

D. Mesures realitzades a instal·lacions singulars

E. Mesures de fons de cel ASTM

F. Mesures de fons de cel a tota l'AMB

G. Mesures de fons de cel puntuals i en el temps

H. Planimetria vària

I. Anàlisi d'espècies