



# Contaminació lumínica i espais naturals

## La Serra del Montsec



*Dr. Salvador J. Ribas*  
*Director científic*  
*Parc Astronòmic Montsec*  
*E-mail: [sjribas@montsec.cat](mailto:sjribas@montsec.cat)*

# Índex

- **La Contaminació Lumínica**
- **La protecció del cel del Montsec. Un cel STARLIGHT**
- **Com mesurem la Contaminació Lumínica?**
- **Mesurant i analitzant un indret protegit. El Montsec**
- **Conclusions**

# Què és la contaminació lumínica?



Aquest ús inadequat o excessiu de la llum és en línies generals el que anomenem Contaminació Lumínica.

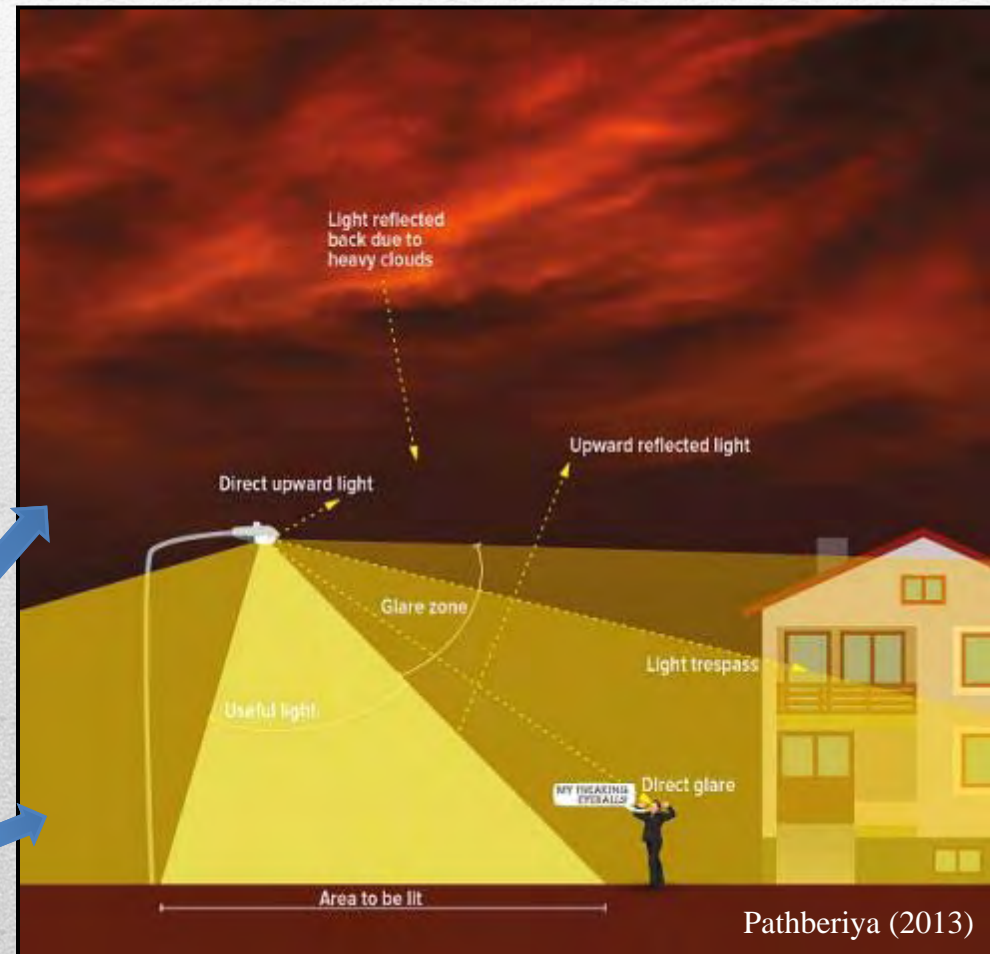


# Tipus de Contaminació Lumínica

Es consideren unes 5 categories bàsiques de Contaminació Lumínica, tot i que en la majoria de casos es donen combinacions de les mateixes.

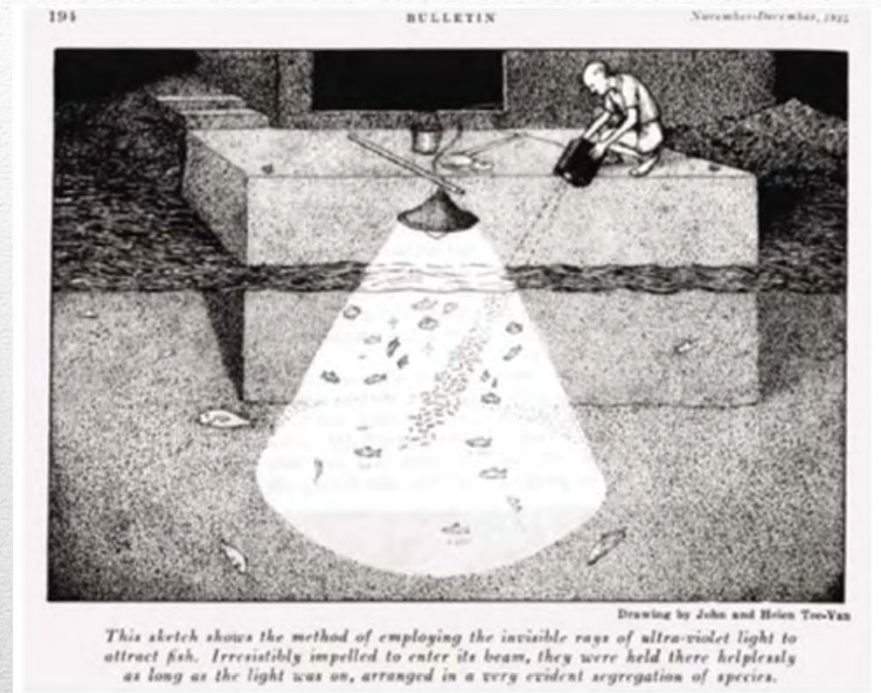
- La difusió cap al cel (skyglow)
- La intrusió lumínica
- Enlluernament
- Malbaratament energètic o sobreconsum
- Desordre lumínic

Afecta a zones protegides



# Efectes de la Contaminació Lumínica

- **Astronomia**
  - Observatoris lluny de les ciutats
  - Limitacions en les observacions
  - Patrimoni cultural
- **Medi Natural o Biològics**
  - Més del 50% dels éssers vius són nocturns
  - Afectació a vegetació i als cicles vitals dels animals.
- **Salut humana**
  - Supressió de la melatonina (Cronodisrupció)
- **Altres**
  - Despesa energètica
  - Contaminació atmosfèrica
  - Seguretat?



“I si ens llevem un matí i ens donem compte que totes les estratègies de preservació dels darrers trenta anys només expliquen la meitat de la història – la història del dia” (Rich & Longcore 2006)

# La protecció del cel del Montsec



## Un mica d'història...

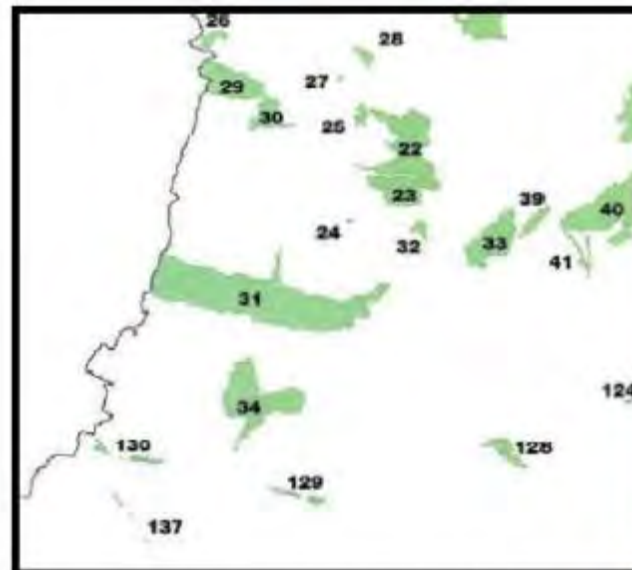
- A mitjans dels 90, es va posar en marxa el projecte del Parc Astronòmic Montsec.
- En paral·lel i gràcies al treball de diversos sectors s'impulsa la Llei Catalana de protecció del cel nocturn.
- L'any 2001 s'aprova la Llei 6/2001, de 31 de Maig, d'ordenació ambiental de l'enllumenat per la protecció del medi nocturn.
- 2000-2002: Primeres campanyes de mesures a Catalunya (UB+UPC).
- Decret 22/2007 **ANUL·LAT** a el Reglament que desenvolupa el Reglament de l'Observatori Astronòmic del Montsec. Defineix **Observatori Astronòmic del Montsec (punt de referència) + 16 municipis de l'àrea d'influència amb la màxima protecció (E1)**

# La zonificació de Catalunya

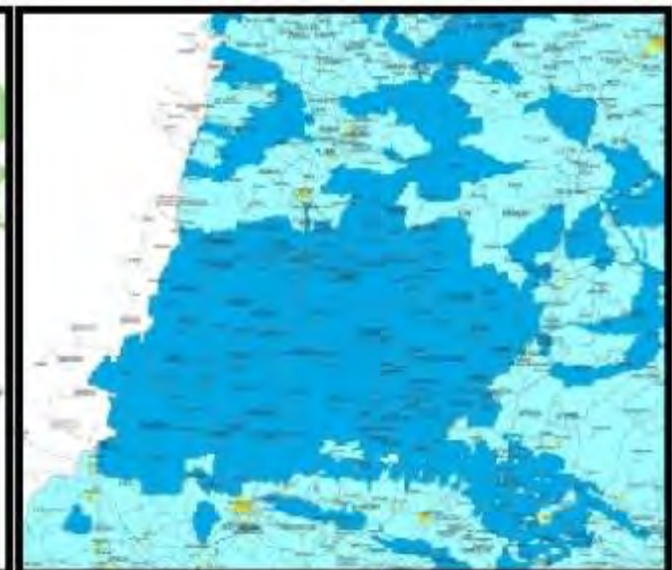
- El 19/12/2007, s'aprova el mapa de protecció vers la contaminació lumínica.



Percentatge de cada tipologia	
E1	34,18%
E2	60,25%
E3	5,54%
E4	0,02%



Espacios Naturales Protegidos Catalunya (PEIN)



Zonas protegidas contra la contaminación lumínica

# Accions específiques al Montsec



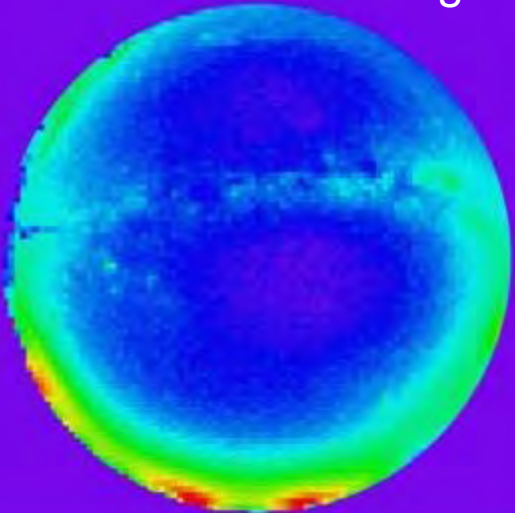
➤ 2003-2011, al Montsec:

- Adequació de l'enllumenat públic a la normativa amb subvencions del Dept de Medi Ambient per valor 800.000 Euros.
- Instal·lació de barreres lumíniques a carreteres.
- Senyalització vial de recomanació de llums curtes en zones especialment sensibles.
- Senyalització informativa per ajudar en la divulgació del problema als visitants del Parc Astronòmic

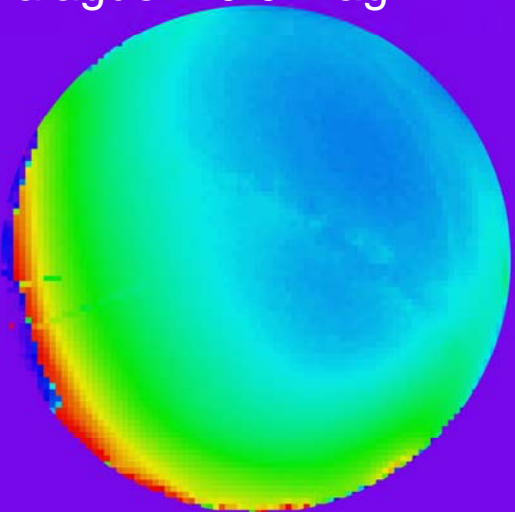


# La protecció del cel del Montsec

OAdM 21.6 / 21.9 mag



Balaguer 20.0 mag



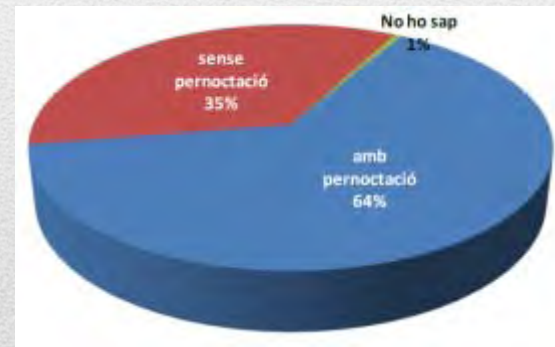
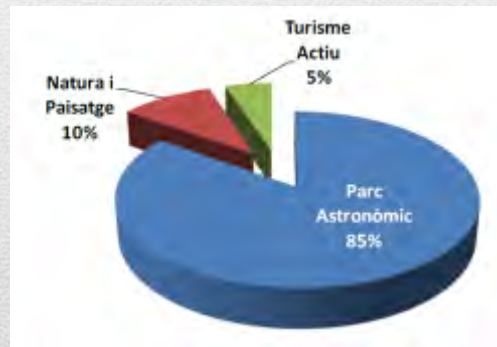
- 2012-2016, campanyes de mesures de la qualitat del cel nocturn a la zona del Montsec i que s'estenen a altres espais naturals de Catalunya (PAM+UB).
- El 01/03/2013, es recupera l'Observatori Astronòmic del Montsec com punt de referència i els 16 municipis veïns són l'àrea de influència amb màxima protecció (E1).
- El 21/03/2013, Reserva + Destinació Turística Starlight pel Montsec.
- Agost 2015 s'aprova el Reglament contra la CL a Catalunya que reforça la figura del Montsec i promou la creació d'espais d'observació del cel.
- Aquest nou reglament regula els tipus de làmpades, horaris i tots els detalls tècnics. S'ha realitzat amb un ampli consens.

# Reserva i Destinació Turística



# Avantatges de ser un lloc protegit STARLIGHT

- Reconeixement de la qualitat de cel, la biodiversitat i el paisatge nocturn.
- Facilitat 'moral' per promoure accions de protecció del cel nocturn.
- Millora en el posicionament estratègic en el mercat del turisme científic i en particular de l'astroturisme.



Despeses per visitant (media)	28,50 Eur
Despeses per visitant (amb allotjament)	41,50 Eur
Despeses per visitant (sense allotjament)	6,50 Eur

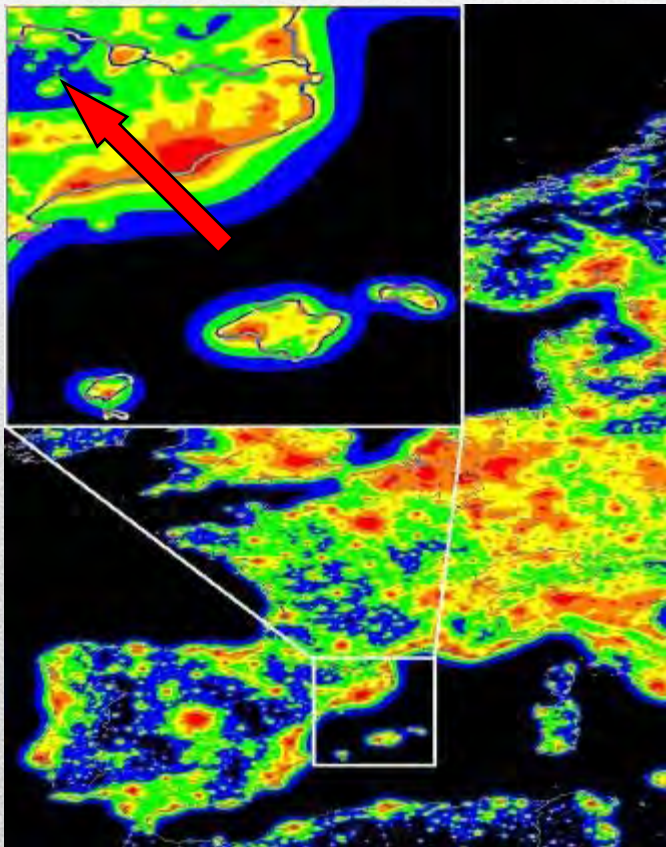
**30 000 visitants per any**



**1 300 000 Eur / any**

# Mesura de la Contaminació Lumínica

- Hi ha dues aproximacions principals. La primera basada en la mesura del flux lluminós detectat per l'observació des de satèl·lit, l'estació espacial internacional o des de vols nocturns.



Cinzano et al, 2000-2001



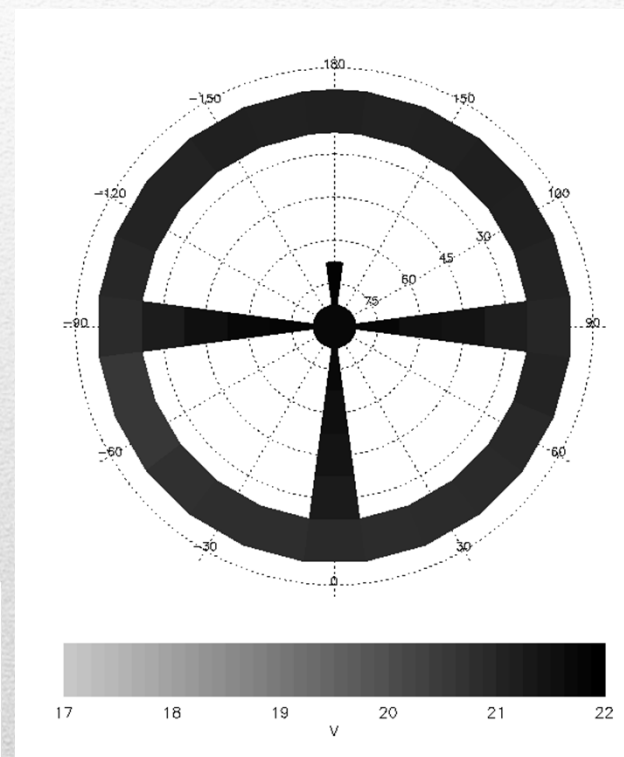
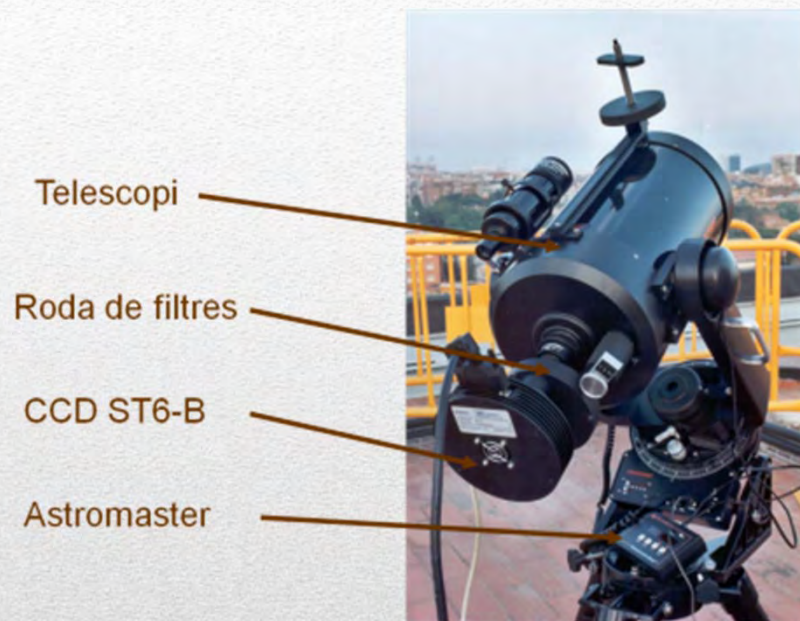
Corbera et al, 2013

# La mesura de la brillantor del cel

- La segona opció és la mesura de la **brillantor de cel** des de la superfície terrestre mitjançant diversos dispositius.
- Habitualment el que mesurem és **luminància** (tot sovint utilitzem la terminologia brillantor del cel). S'expressa en **candeles per metre quadrat** o per tradició astronòmica en **magnitud per segon d'arc quadrat**.
- Alguns instruments poden determinar la **il·luminació**, que consisteix en el flux lluminós total que travessa una superfície i s'expressa en **lux**.

Instrument	Detector	Què mesura?	Info. Espacial	Precisió	Calibració
Telescopi + CCD	CCD	Luminància	2D amb mosaics	Depèn de fotometria	Fotometria Astronòmica
Sky Quality Meter	Estat sòlid TSL 237S	Luminància	1D FWHM 20-84°	0.10 mag/arcsec <sup>2</sup>	Laboratori
Lightmeter	Estat sòlid	Il·luminació i Irradiància	1D FWHM 120°	10 $\mu$ lx en fosc	Fonts naturals
Digilum	Estat sòlid	Luminància	1D FWHM 5°	0.1 mcd/m <sup>2</sup>	Laboratori
ASTMON	CCD	Luminància	2D Ull de peix	Depèn de fotometria	Fotometria Astronòmica
Càmeres DSLR	CMOS	Luminància	2D Ull de peix	10% en Luminància	Laboratori
NPS Mosaic All-sky	CCD	Luminància	2D per mosaic	10 $\mu$ cd/m <sup>2</sup>	Fotometria Astronòmica

# Les primeres mesures... amb telescopi.



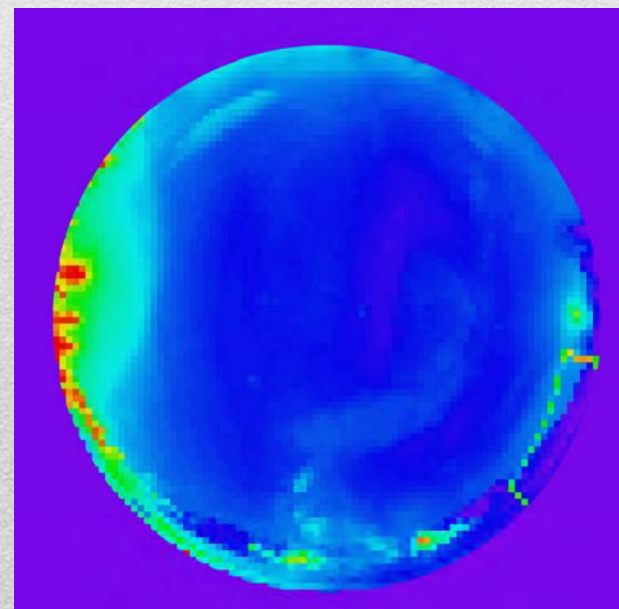
Torra et al, 2000

Dades obtingudes entre 2000 i 2002

Localitat	magV al zenit (mag/arsec <sup>2</sup> )
Alt de Fontllonga	20.9-21.6
Balaguer	19.6-20.3
Castell de Mur	21.1-21.4
Isona	20.9-21.8
Observatori Astronòmic del Montsec	21.5-22.1
Ponts	19.6-20.3 <sup>a</sup>
Port d'Àger	21.1-21.2
Santa Linya	21.2-22.0
Tremp	21.0-21.4

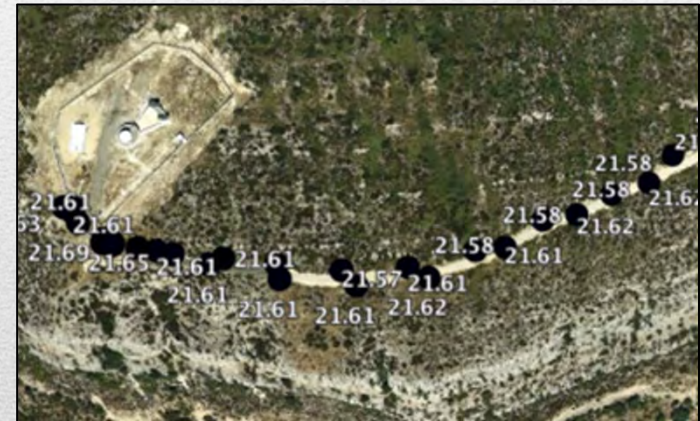
# Instruments de mesura

- El més comú és el SQM (Sky Quality Meter) que mesura una porció de cel i proveeix el resultat en unitats típiques d'astronomia mag/arcsec<sup>2</sup>. La seva resposta no es correspon amb els filtres astronòmic ni amb les definicions de la CIE però el seu cost i facilitat d'ús la convertit en referent.
- Si es vol obtenir informació espacial llavors es requereixen de dispositius d'imatge, com càmeres DSLR o dispositius específics com l'ASTMON.



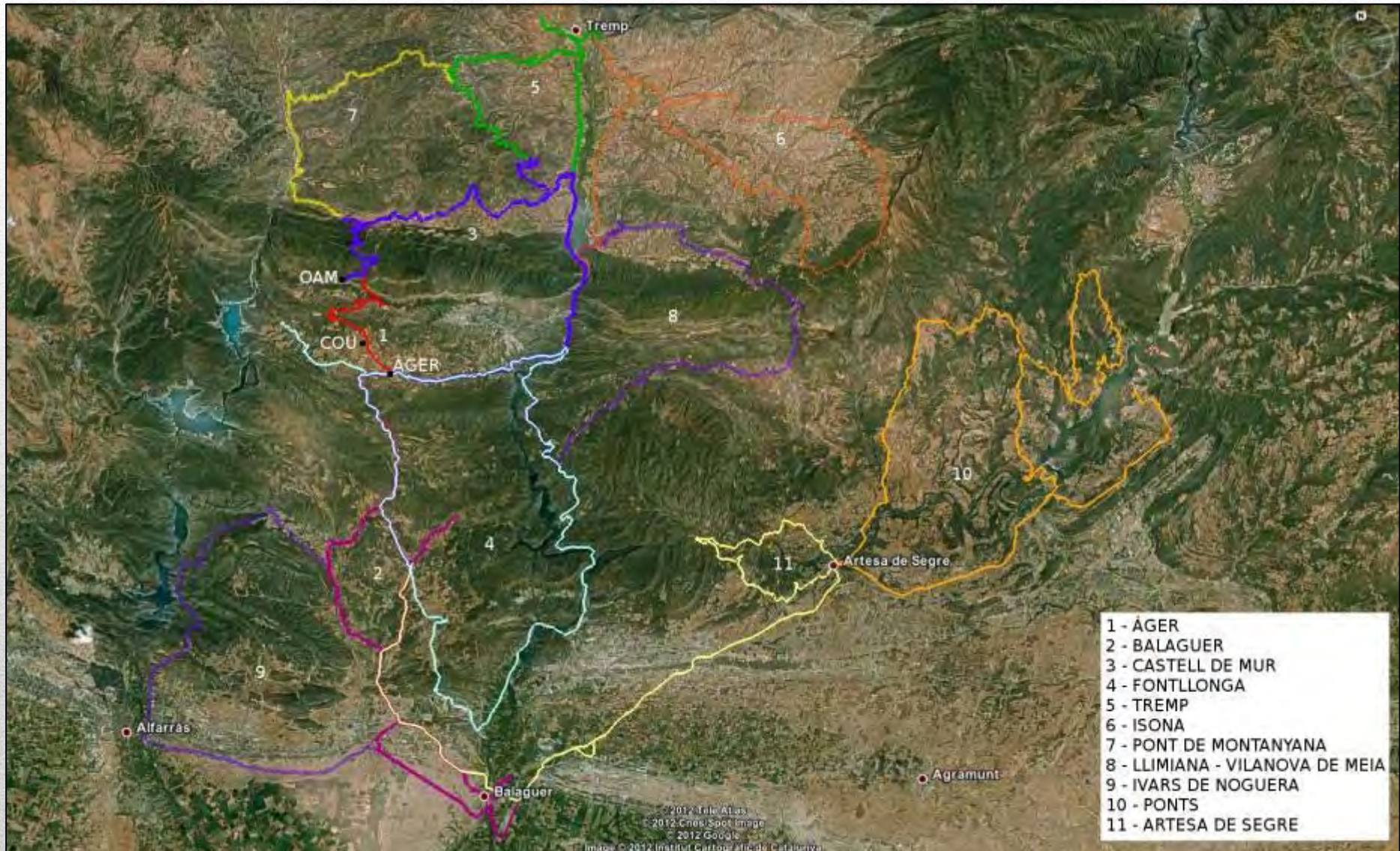
# Construcció d'un mapa de CL

- La metodologia emprada és la mesura en vehicle amb SQM-LU controlada pel programari RoadRunner (Rosa 2011) que integra les dades GPS i genera sortides en ASCII per processats i en KML per visualització ràpida.
- Es defineixen rutes en el territori que es vol analitzar. Ja es troben estudiades zones per tot Catalunya:
  - Serra del Montsec i el seu entorn.
  - Valls del Pirineu
  - Plana de Lleida
  - Zones protegides a altres províncies (UB)

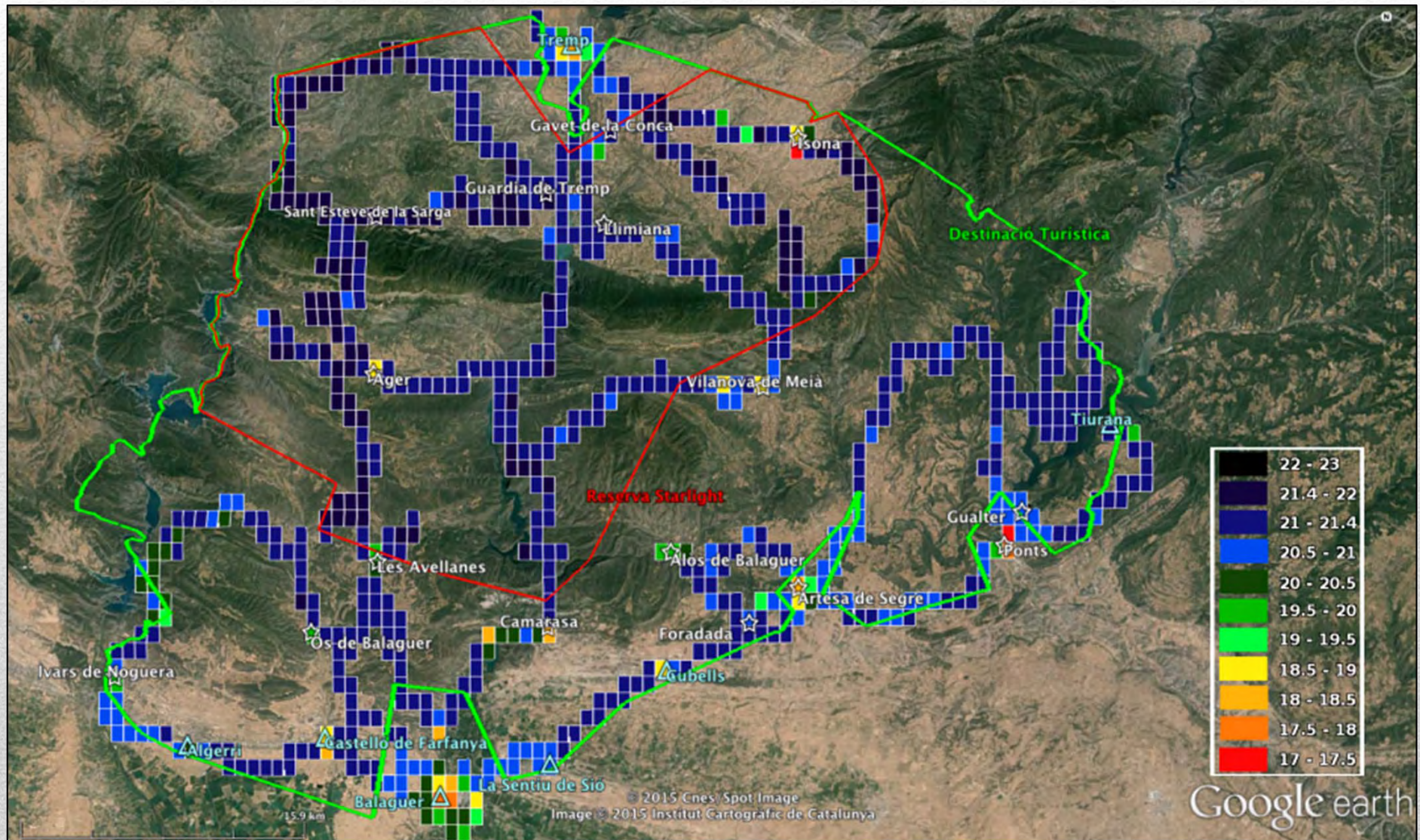




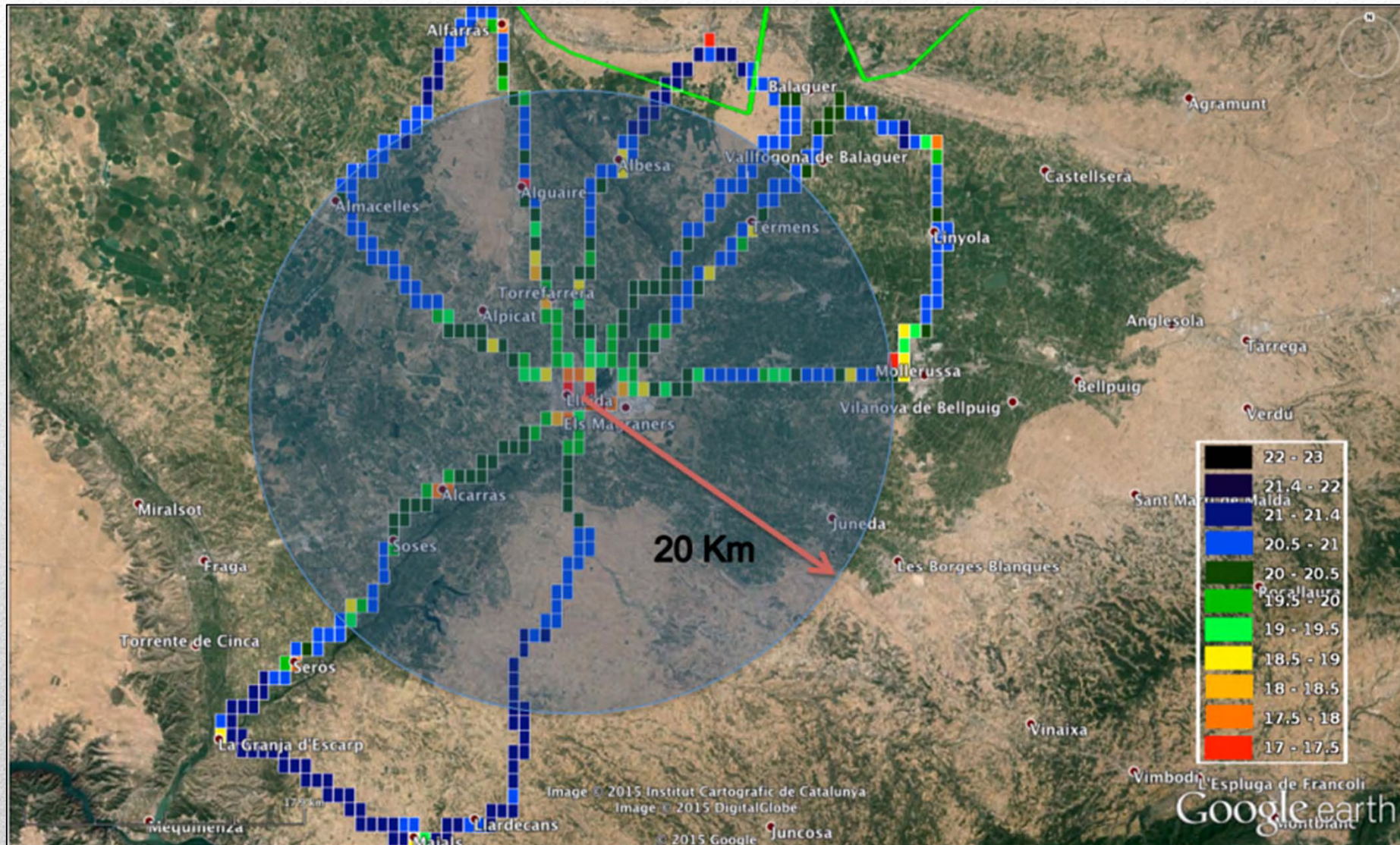
# Rutes Montsec (M) [2012-2016]



# Resultats obtinguts: El Montsec (M)



# Resultats obtinguts: La Plana de Lleida (L)



# Xarxa de mesures contínues

- En col·laboració amb el Servei per la Prevenció de la Contaminació Acústica i Lumínica hem posat en marxa la prova pilot de Xarxa Catalana de Contaminació Lumínica (XCLCat).
- Les estacions definides es basen en dispositius SQM-L. Tots ells han estat tots intercalibrats per tal que les dades siguin comparables.

Emplaçament	Codi SQM
Àger - Centre d'Observació de l'Univers	SQM-LE 1
Balaguer - Consell Comarcal de la Noguera	SQM-LE 2
Barcelona - Fac. Física (UB)	SQM-LE 3
Lleida - XVPCA Lleida	SQM-LE 6
St.Esteve de la Sarga - XVPCA Obs.Ast.Montsec	SQM-LE 7
Seró (Artesa de Segre) - Túmul de Seró	SQM-LE 9
La Sènia - XPVCA La Sènia	SQM-LE 10
Montserrat - XPVCA Montseny (La Castanya)	SQM-LE 11
Santa Pau - XPVCA Sta. Pau (Can Jordà)	SQM-LE 12

# Xarxa de mesures contínues



Àger - Centre d'Observació de l'Univers

Tipus de Mostra	Nombre de Mesures	Magnitud (mag/arcsec <sup>2</sup> )	$\sigma_{mag}$ (mag/arcsec <sup>2</sup> )
Total	361948	20.238	1.575
Sense Lluna	183564	21.380	0.430

Balaguer - Consell Comarcal de la Noguera

Tipus de Mostra	Nombre de Mesures	Magnitud (mag/arcsec <sup>2</sup> )	$\sigma_{mag}$ (mag/arcsec <sup>2</sup> )
Total	204441	18.131	1.370
Sense Lluna	102356	18.429	1.419

Barcelona - Facultat de Física (UB)

Tipus de Mostra	Nombre de Mesures	Magnitud (mag/arcsec <sup>2</sup> )	$\sigma_{mag}$ (mag/arcsec <sup>2</sup> )
Total	229801	16.674	1.176
Sense Lluna	113146	16.747	1.235

Lleida - XVPCA Lleida

Tipus de Mostra	Nombre de Mesures	Magnitud (mag/arcsec <sup>2</sup> )	$\sigma_{mag}$ (mag/arcsec <sup>2</sup> )
Total	234304	16.670	0.868
Sense Lluna	115680	16.711	0.923

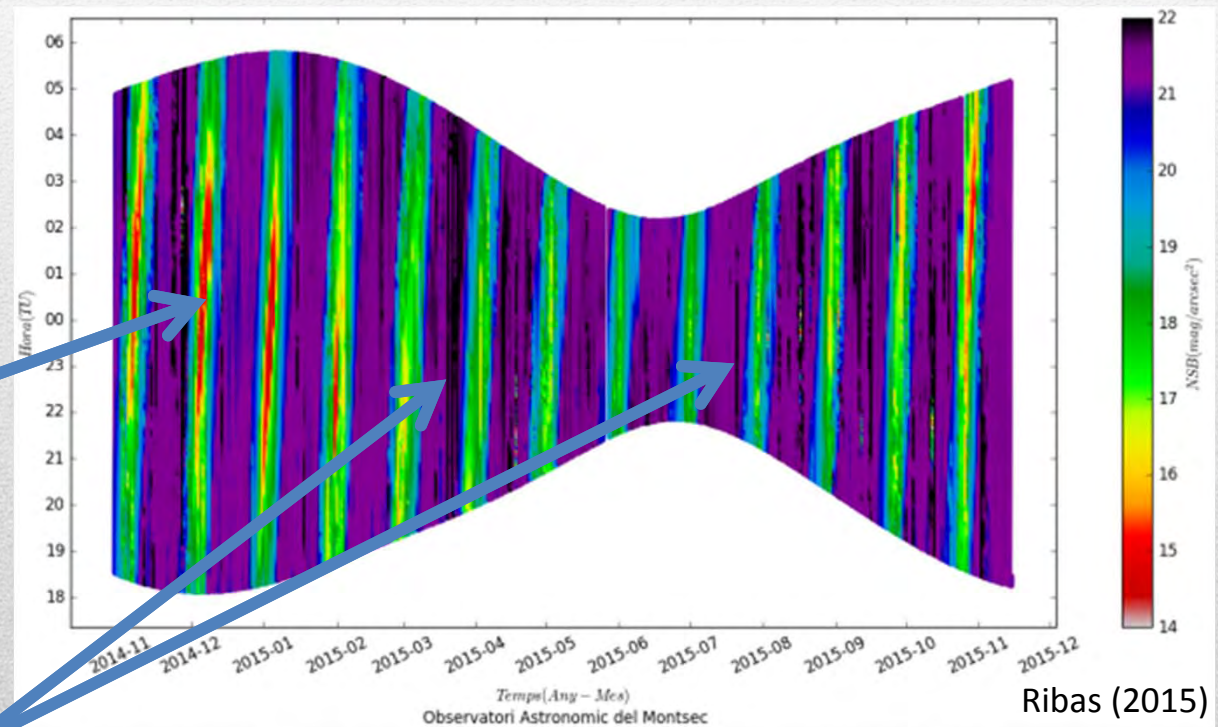
St. Esteve de la Sarga - XVPCA Obs. Astr. del Montsec

Tipus de Mostra	Nombre de Mesures	Magnitud (mag/arcsec <sup>2</sup> )	$\sigma_{mag}$ (mag/arcsec <sup>2</sup> )
Total	246865	20.253	1.721
Sense Lluna	123652	21.480	0.587

# Evolució Anual en zona protegida

Estació situada a l'OAdM:

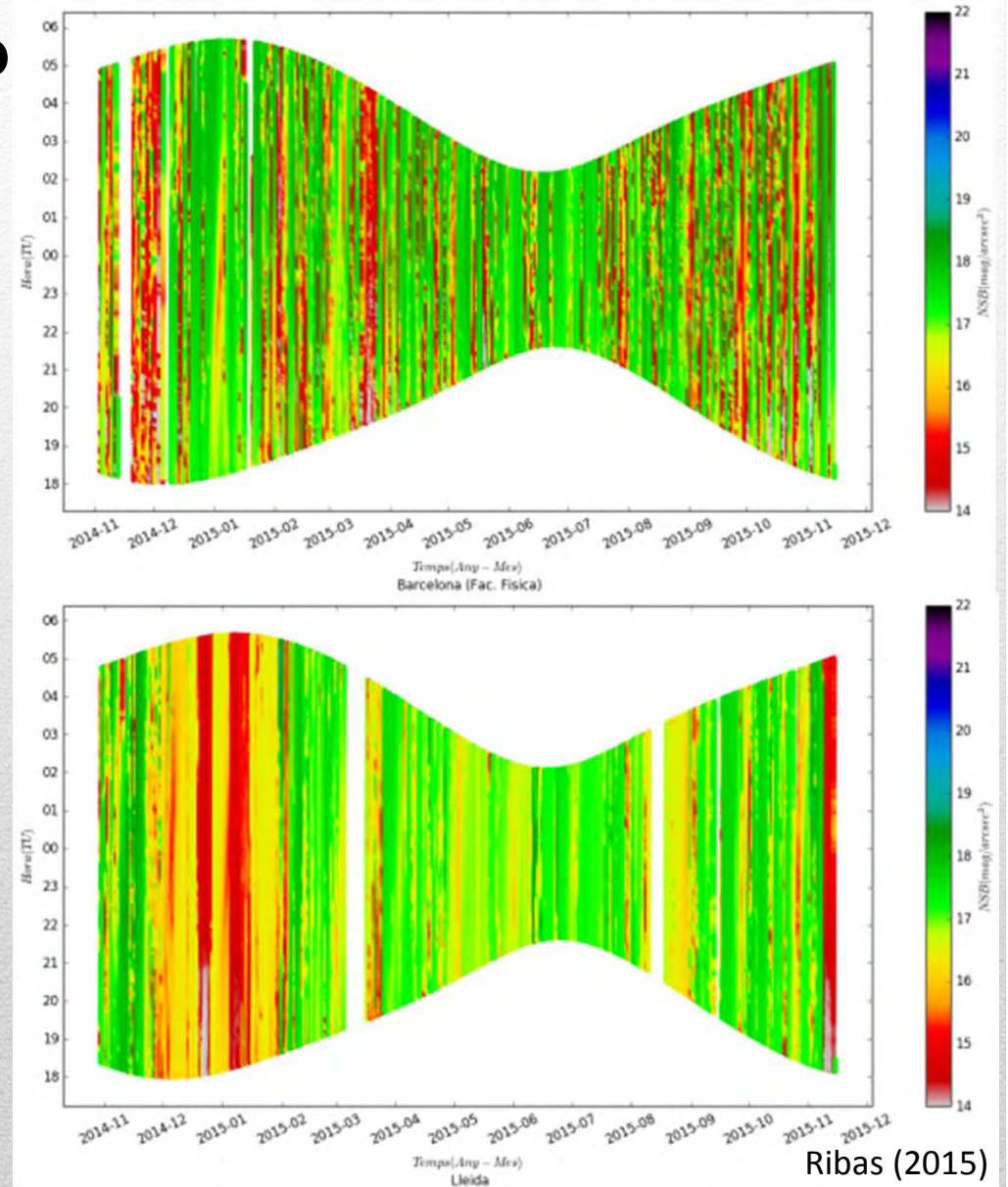
- En les estacions situades en zones protegides s'aprecien valors que arriben fins a magnitud 22.
- El cicle lunar es perfectament identificable amb bandes lleugerament inclinades.
- Els valors més foscos no es troben a l'estiu, probablement per l'efecte de les regions centrals de la Via Làctia.



# i en zones urbanes ?

## Barcelona i Lleida

- L'estació de Barcelona pràcticament no mostra cicle lunar, amb valors entre 15 i 18 magnituds.
- L'estació de Lleida mostra un augment notable de brillantor a l'episodi nadalenc.
- A Lleida s'aprecien bandes verticals corresponents als episodis de boira, que ens mostren els valors més brillants del fons de cel.

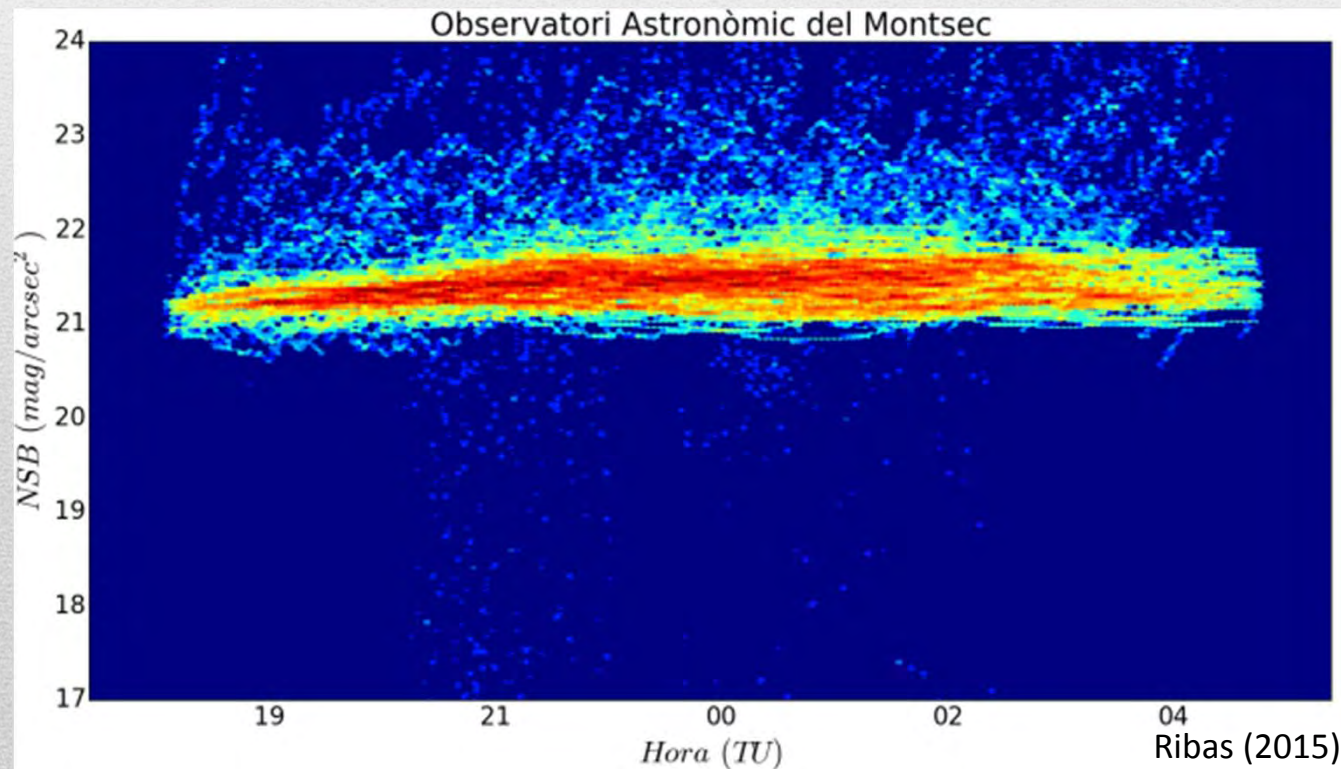




# Evolució horària en zones protegides

## OAdM

- La major concentració de mesures es troba als valors entre 21-22 mag.
- Els valors amb major dispersió es troben en valors més foscos.
- Es detecta un lleuger efecte de reducció de brillantor amb el pas de la nit per l'apagada de llums.

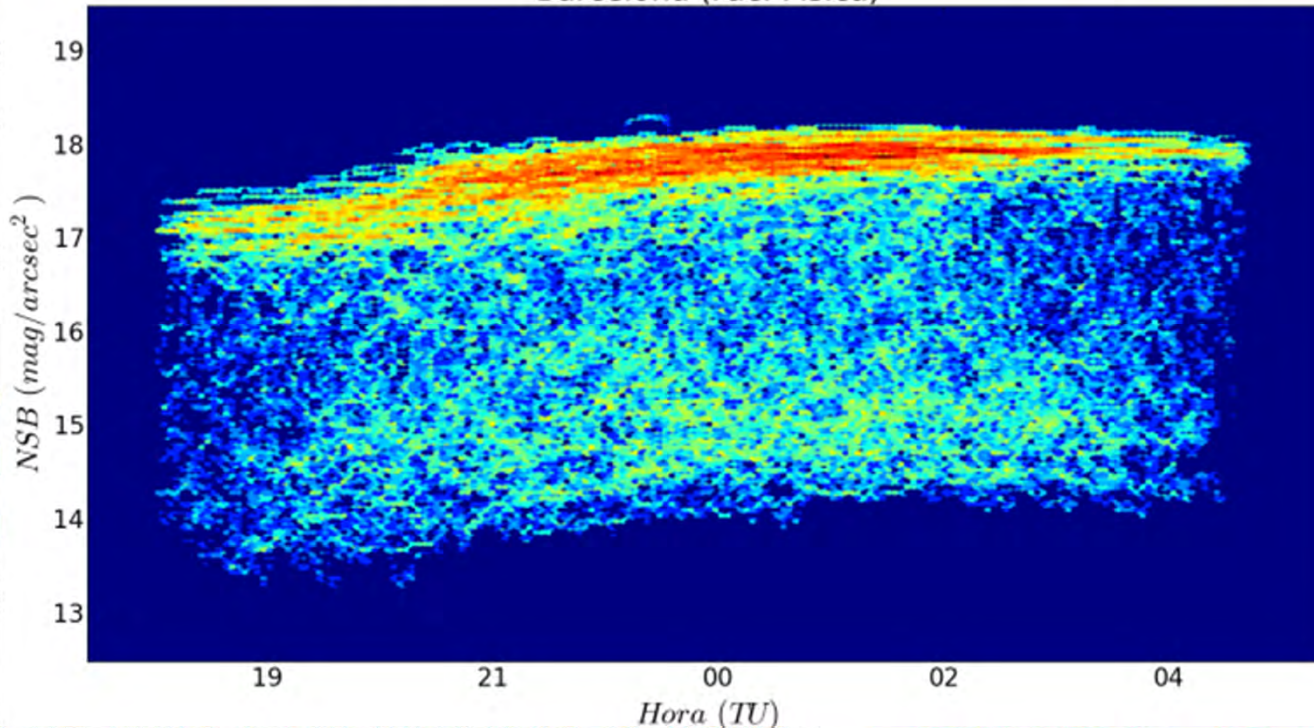


# i en zones urbanes?

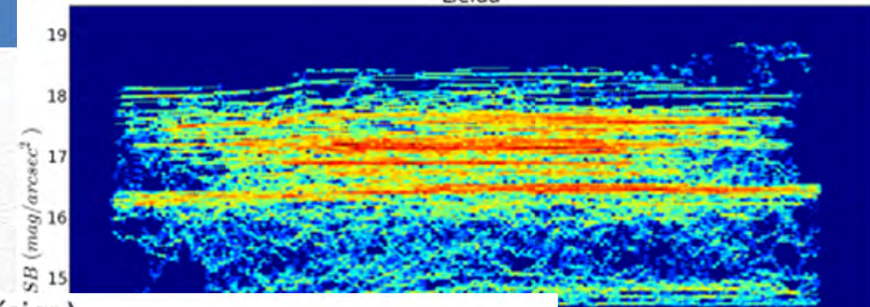
## Balaguer, Lleida i Barcelona

- El ca...  
majo
- No  
zona  
disp
- En  
rela  
s'ap  
apa
- A LL  
zona de bona i s'hi incorpora la trajectòria  
derivada del període nadalenc.
- A Barcelona és molt present la reducció  
de llum amb el pas de les hores.

Barcelona (Fac. Física)



Lleida



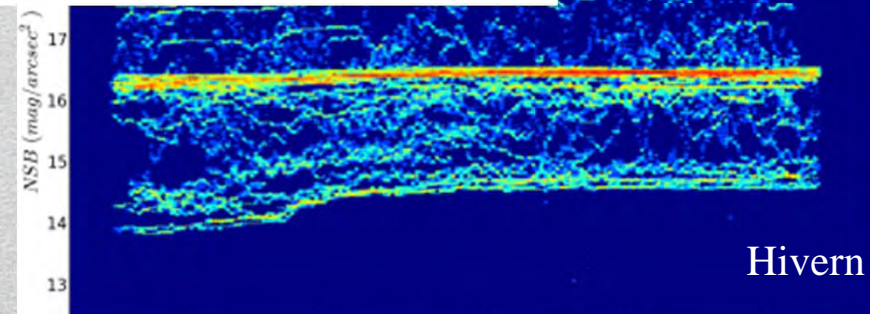
Total

02 04

Estiu

02 04

Hivern

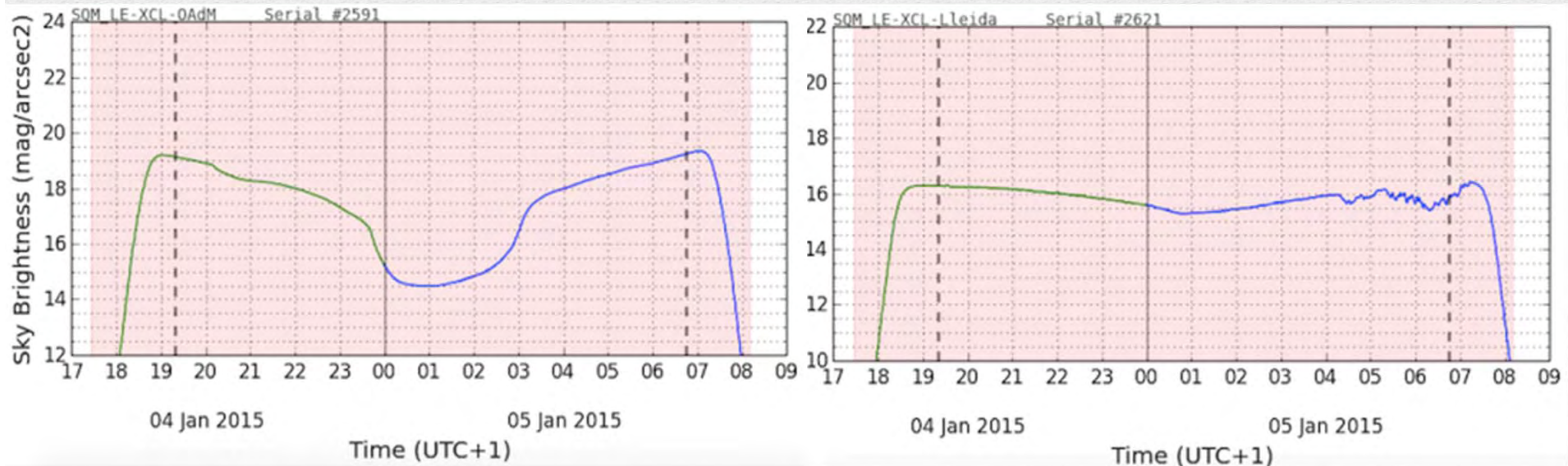


19 21 00 02 04

Hora (TU)

# Efecte de la Lluna

- En latituds intermitges la Lluna plena pot implicar una mesura SQM entre 14.5 i 18.5 mag segons la seva alçada.
- En llunes plenes d'hivern (les de major alçada) el seu efecte es inapreciable en zones urbanes.



# Efecte de la Via Làctia

- En cels excel·lents es pot detectar l'efecte de la Via Làctia en la mesura, quan les regions centrals de la mateixa creuen el camp de mesura del detector.
- S'han detectat canvis fins de 0.4 mag.

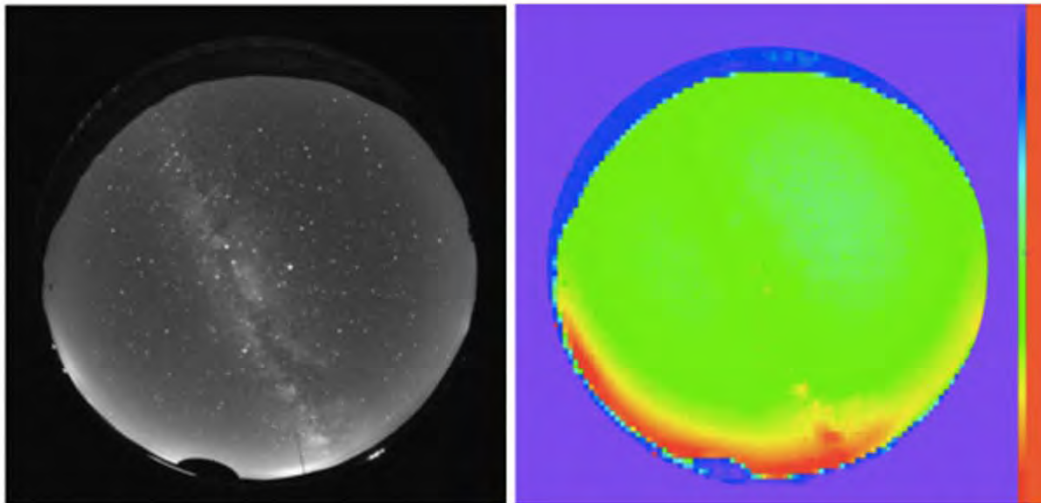
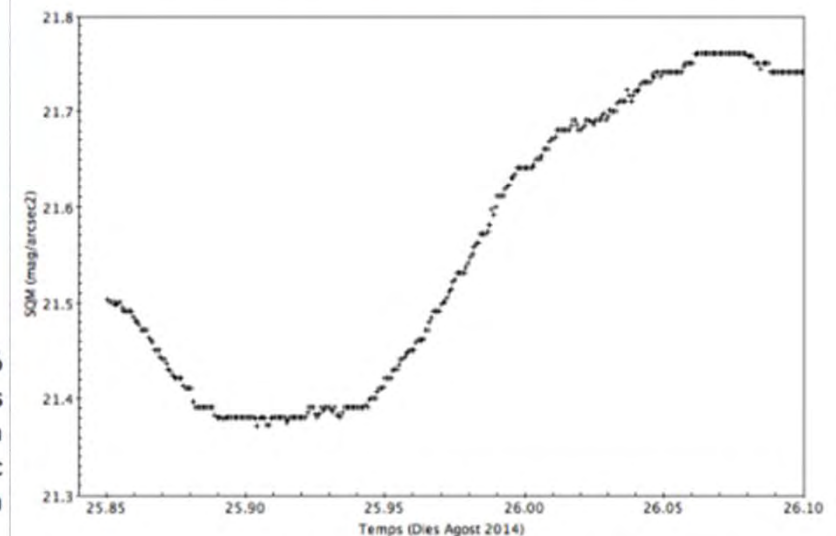
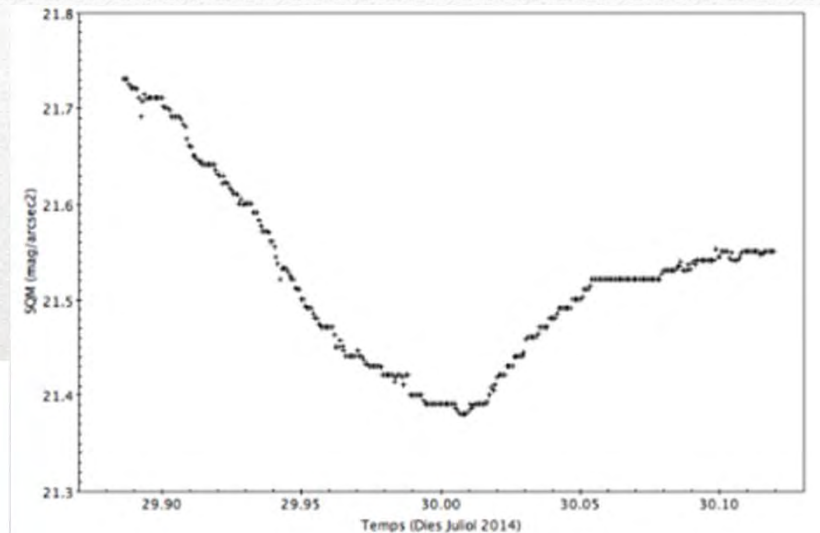
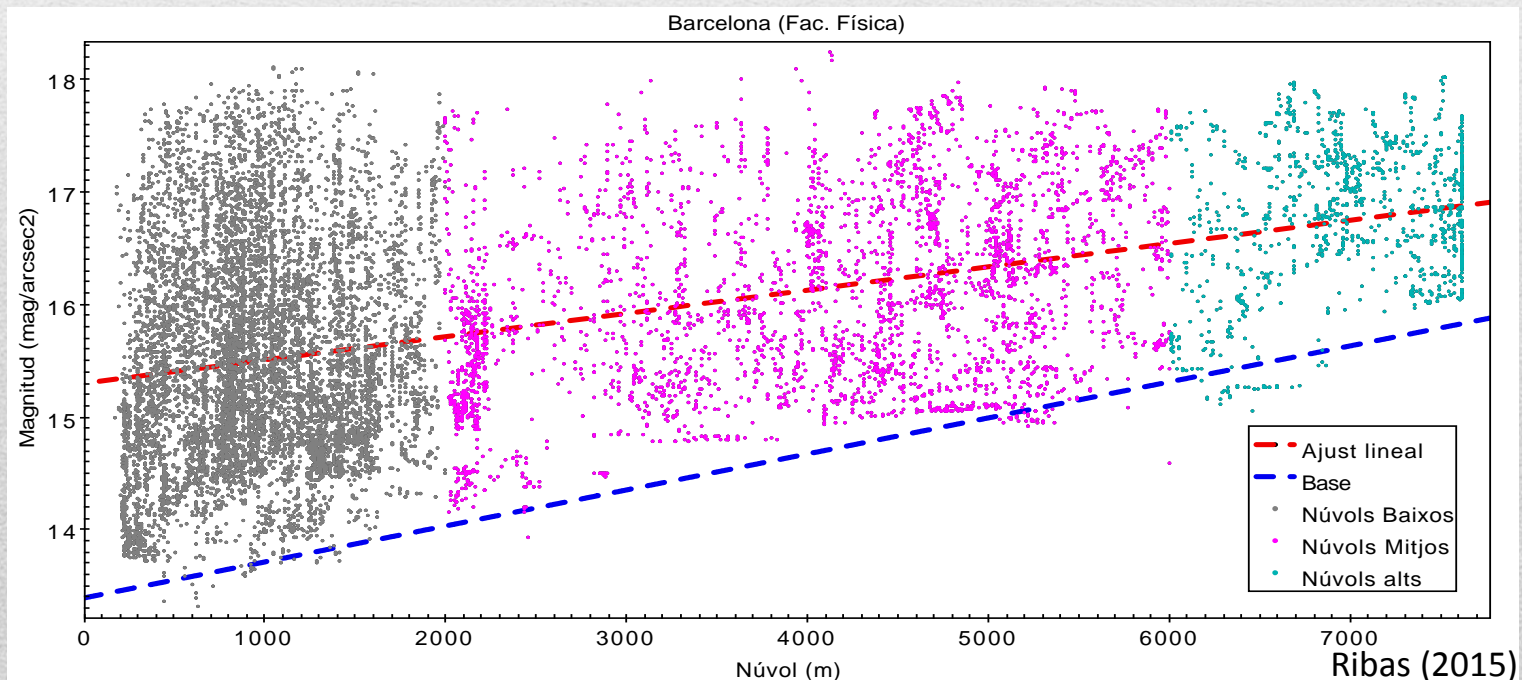


Figura 8.15: Imatges all-sky obtinguda amb el dispositiu ASTMON des del Centre d'Observació de l'Univers el dia 31 de juliol de 2014. S'aprecia clarament la Via Làctia creuant les regions del zenit al centre de la imatge on el SQM obté les seves lectures. Al panell esquerre es mostra la imatge en brut i a la dreta la imatge processada en fals color amb el programari automàtic de l'ASTMON. S'aprecia clarament la zona de Cygnus a la part central de la imatge i la zona de Sagitari (centre galàctic) a prop de l'horitzó.



# Els núvols i la brillantor del fons de cel

- Combinant les dades de ceilòmetres amb les estacions SQM podem veure l'efecte dels núvols en la brillantor del fons de cel.
- En el cas de zona urbana es mostra com els núvols incrementen la brillantor del fons de cel en tots els casos.
- La representació de magnitud vs alçada del núvol, ens mostra com en zones urbanes els núvols baixos són els que poden incrementar més la brillantor.



# Els núvols i la brillantor del fons de cel

- En zones fosques protegides els núvols no necessàriament reflecteixen la llum artificial, sinó que al ser quasi inexistent poden bloquejar la llum natural del cel (estrelles, Via Làctia)
- Aquest fet es especialment destacat en el cas dels núvols baixos.
- El cas dels núvols alts augmenten lleugerament la brillantor.

OAdM

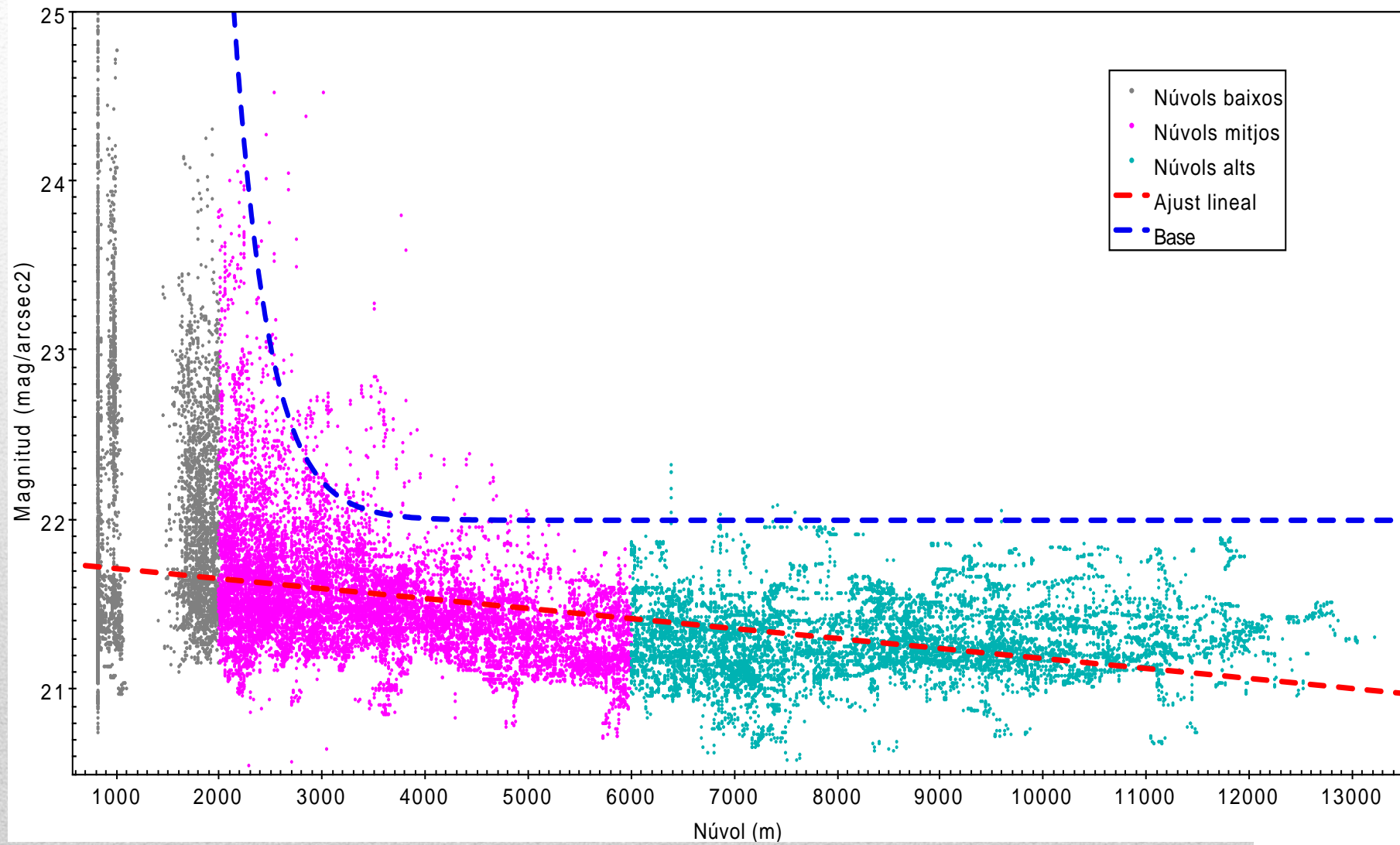
Tipus de Mostra	Nombre de Mesures	Magnitud (mag/arcsec <sup>2</sup> )	$\sigma_{mag}$ (mag/arcsec <sup>2</sup> )
Total	66492	21.472	0.595
Sense Núvols	31752	21.439	0.561
Amb Núvols	34740	21.502	0.623
Núvols Baixos	7837	21.818	0.883
Núvols Mitjos	15537	21.500	0.600
Núvols Alts	11366	21.286	0.209

COU

Tipus de Mostra	Nombre de Mesures	Magnitud (mag/arcsec <sup>2</sup> )	$\sigma_{mag}$ (mag/arcsec <sup>2</sup> )
Total	72838	21.385	0.437
Sense Núvols	34657	21.414	0.393
Amb Núvols	38181	21.358	0.471
Núvols Baixos	8581	21.515	0.701
Núvols Mitjos	17023	21.352	0.441
Núvols Alts	12577	21.258	0.221

Ribas (2015)

Observatori Astronomic del Montsec



Ribas (2015)

# Conclusions

- El mal ús de la llum en una zona urbana arriba i afecta les zones protegides. Com a conseqüència se'n poden derivar efectes sobre el medi natural i la salut més enllà dels més coneguts de la pèrdua del cel nocturn.
- Per tal de poder garantir la preservació d'un indret és necessari realitzar accions de protecció tant a nivell legal com a nivell del propi territori (plans d'enllumenat). D'aquesta manera, com en el cas del Montsec, es pot posar en valor i preservar la qualitat del cel nocturn.
- El recurs del cel nocturn de qualitat pot esdevenir un generador o motor econòmic mitjançant certificacions internacionals i la creació d'espais visitables i/o productes turístics associats.



# Conclusions

- Les tècniques de mesura extensiva permeten la construcció de mapes de contaminació lumínica en el territori. Actualment es troba en preparació la segona versió del mapa de Catalunya per part de la Dir.Gral de Qualitat Ambiental.
- La creació d'una xarxa de mesures contínues permet l'estudi d'evolucions temporals, tant anuals com horàries, i permetrà a llarg termini l'estudi de l'evolució de la qualitat del cel.
- En zones protegides es mesuren efectes que es troben absents en zona urbana, com el cicle lunar complet o l'efecte de la Via Làctia.
- La presència de núvols o boires pot alterar els valors de fons de cel. Incrementant la brillantor de manera crítica en zones urbanes.

*“Si els estels, enlloc de brillar contínuament sobre els nostres caps, es poguessin veure només en un únic lloc a la Terra, els humans no podríem evitar peregrinar-hi per contemplar i admirar la bellesa del cel”*

Luci Anneu Sèneca, segle I





Gràcies per la vostra atenció !

