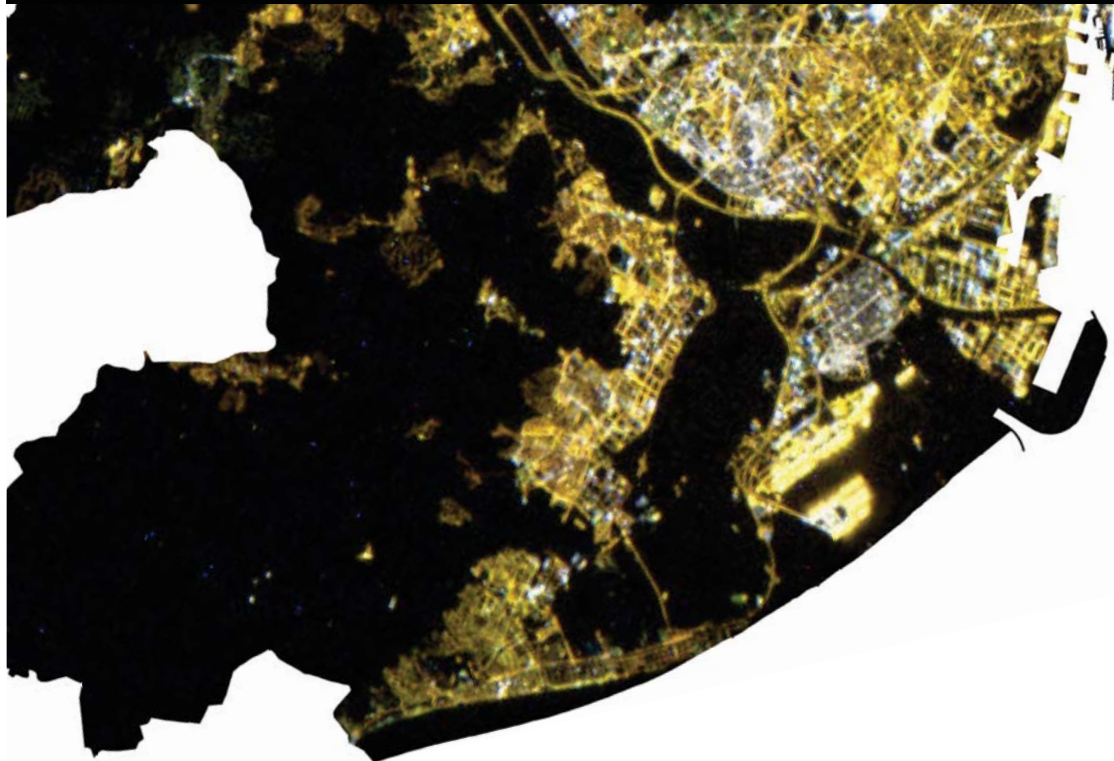
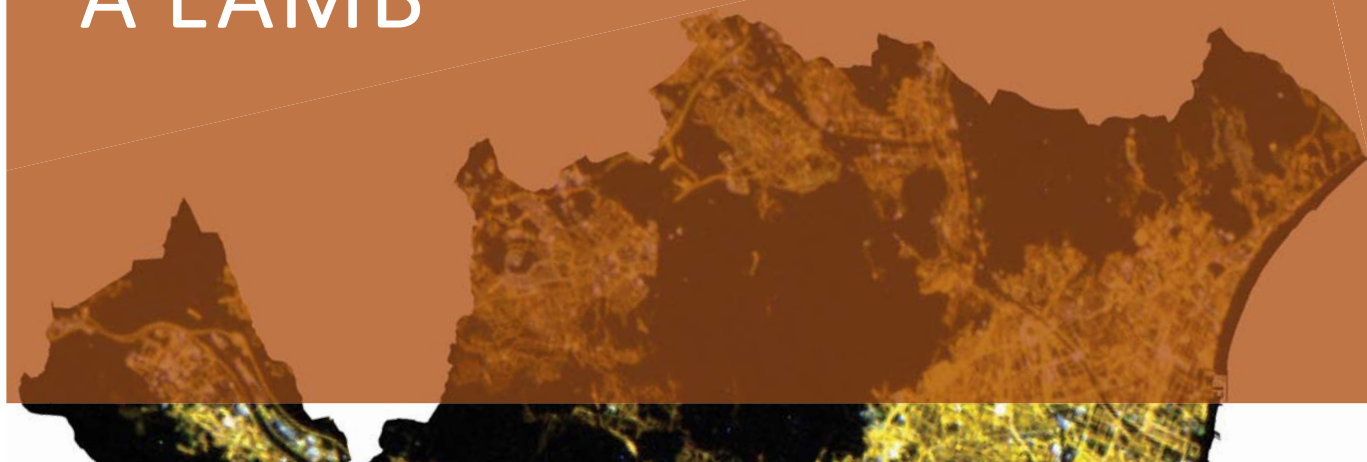


PSAMB 2014-2020

CONTAMINACIÓ LLUMINOSA A L'AMB



Treball elaborat:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB

 **AMB** Medi Ambient

Direcció:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB - Barcelona Regional

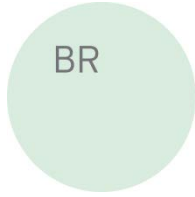
 **AMB** Medi Ambient



Redacció:

Barcelona Regional





BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ



CONTAMINACIÓ LLUMINOSA AMB

Setembre 2013



Àrea Metropolitana
de Barcelona

CLIENT



Àrea Metropolitana
de Barcelona

REDACCIÓ



BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ

CARRER 60, 25-27.
EDIFICI Z, PLANTA 2
SECTOR A, ZONA FRANCA
08040 BARCELONA
T 932 237 400
F 932 237 414

www.bcnregional.com
br@bcnregional.com

COORDINACIÓ

Marc Montlleó, *Director de Projectes Ambientals*

COL·LABORACIÓ

Begoña Bellette, *biòloga*
Itzel Sanromà, *ambientòloga*

i l'equip tècnic i administratiu de Barcelona Regional

imatge de portada: Paolo Nespoli, 6/02/2011

© 2013, BARCELONA REGIONAL



ÍNDIX

1. CONTEXT	5
1.1. Concepte contaminació lluminosa.....	5
1.2. Marc normatiu prevenció contaminació lluminosa	5
2. ESTAT DE LA QÜESTIÓ	8
2.1. L'enllumenat públic en els municipis de l'AMB	8
2.2. Contaminació lluminosa de l'AMB.....	23
2.2.1. RADIANCIA.....	23
2.2.2. LLUMINOSITAT ARTIFICIAL NOCTURNA A NIVELL DEL MAR.....	27
2.2.3. LLUMINOSITAT NOCTURNA TOTAL	33
2.2.4. VISIBILITAT D'ESTRELLES.....	34
3. ANÀLISI DEL MAPA DE PREVENCIÓ DE LA CONTAMINACIÓ LLUMINOSA DE CATALUNYA A L'AMB	35
4. CONCLUSIONS	41

1. CONTEXT

1.1. Concepte contaminació Iluminosa

S'entén per contaminació lumínica o Iluminosa l'emissió directa o indirecta a l'atmosfera de fluxos de llum de fonts artificials nocturnes en intensitats, direccions o rangs espectrals innecessaris per a la realització de les activitats previstes a la zona en què s'han instal·lat els llums¹.

És doncs un fenomen clarament vinculat a les zones habitades i degut a una manca d'adequació de la il·luminació a la finalitat per la qual s'ha instal·lat que suposa l'alteració de les condicions naturals del medi per adequar-lo a les necessitats de l'activitat humana.

Els efectes principals de la contaminació Iluminosa són²:

- Conseqüències socioeconòmiques
 - Perill per a vianants i conductors derivat de la il·luminació excessiva o mal dissenyada atès que causen la pèrdua de l'agudesia visual i generen zones d'ombra massa contrastades
 - Distracció de conductors deguda a la presència d'anuncis i de rètols lluminosos
 - Intrusió lumínica (invasió dels habitatges a causa de la il·luminació exterior)
 - Obstaculització de la contemplació dels estels i vulneració del dret a un cel pur
 - Consum energètic irracional derivat del funcionament indiscriminat dels sistemes d'il·luminació exterior i dels sistemes d'enllumenat públic
 - Malbaratament dels cabals públics
- Conseqüències ambientals
 - Impactes sobre el medi derivats de la producció d'energia elèctrica
 - Impacte directe sobre la fauna degut a l'alteració dels bioritmes (diürn-nocturn), desorientació de les espècies migratòries, alteració dels hàbitats d'obscuritat, etc.
- Conseqüències científiques
 - Obstaculització de la recerca científica en el camp de l'astronomia

1.2. Marc normatiu prevenció contaminació Iluminosa

La normativa d'aplicació a Catalunya en relació a la prevenció de la contaminació Iluminosa és, per una banda, la *Llei catalana 6/2001, de 31 de maig, d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn*, i, per altra banda a nivell estatal, el *Reial decret 1890/2008, de 14 de novembre, pel qual s'aprova el Reglament d'eficiència energètica en instal·lacions d'enllumenat exterior*, i les seves *instruccions tècniques*

¹ Llei 6/2011, article 4.1.a

² La prevenció de la contaminació lumínica a Catalunya. Especial referència als municipis. Isabel Junquera. Quaderns de dret ambiental, núm. 2. Publicacions URV. Tarragona, 2008.

complementàries (EA-01 a EA-07³), en especial el què estableix la instrucció tècnica ITC-EA-03, de “Resplendor Luminoso Nocturno y Luz Intrusa o Molesta”

L'objectiu principal que s'estableix en el marc normatiu és *mantenir al màxim possible les condicions naturals de les hores nocturnes, en benefici de la fauna, de la flora i dels ecosistemes en general; promoure l'eficiència energètica dels enllumenats exteriors i interiors mitjançant l'estalvi d'energia, sense minva de la seguretat; i, prevenir i corregir els efectes de la contaminació lumínica en la visió del cel.*

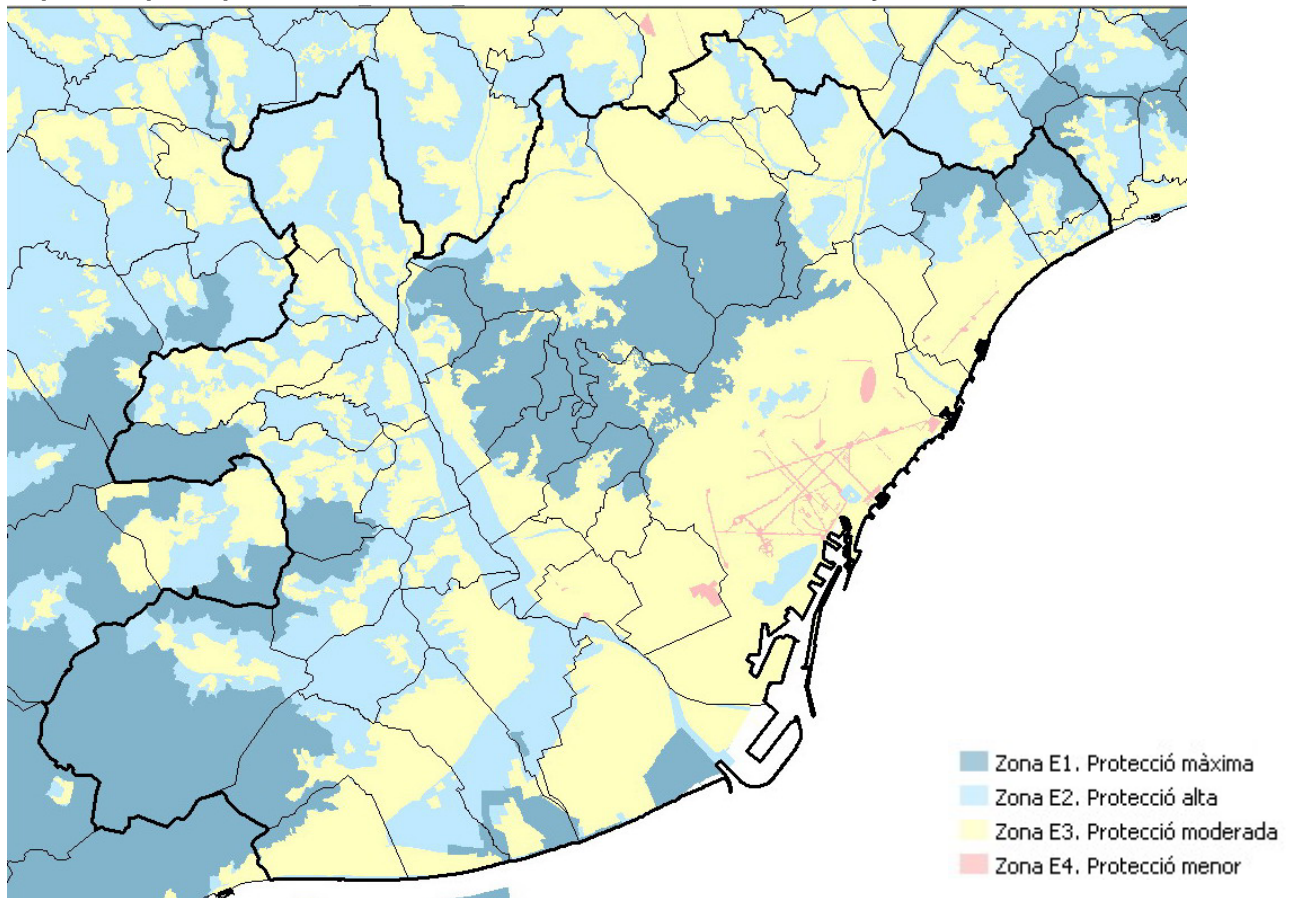
Zonificació

Segons la Llei 6/2001 i la ITC-EA-03, el territori es zonifica en quatre figures de protecció segons la seva vulnerabilitat a la contaminació lumínica:

- **Zona E1:** àrees incloses en el Pla d'espais d'interès natural o en àmbits territorials que hagin d'ésser objecte d'una protecció especial, per raó de llurs característiques naturals o de llur valor astronòmic especial, en les quals només es pot admetre una brillantor mínima.
- **Zona E2:** àrees incloses en àmbits territorials que només admeten una brillantor reduïda. S'entén per brillantor reduïda la que és de baixa intensitat respecte al nivell referent de llum, que estableix la normativa.
- **Zona E3:** àrees incloses en àmbits territorials que admeten una brillantor mitjana.
- **Zona E4:** àrees incloses en àmbits territorials que admeten una brillantor alta.
- **Punts de referència:** punts pròxims a les àrees de valor astronòmic o natural especial incloses en la zona E1, per a cadascun dels quals cal establir una regulació específica en funció de la distància a què es trobin de l'àrea en qüestió.

Es preveu que els ajuntaments puguin establir una zonificació pròpia en el seu terme municipal, sempre que no disminueixi el nivell de protecció aprovat.

³ Les instruccions tècniques complementàries al Reial Decret 1890/2008 (publicades al BOE 299, 19/11/2008) són: ITC-EA-01 Eficiència Energètica, 02 Nivells d'Il·luminació, 03 Resplendor Iluminós nocturn i llum intrusa o molesta, 04 Components de les instal·lacions, 05 Documentació Tècnica, verificacions i inspeccions, 06 Manteniment de l'eficiència energètica de les instal·lacions, 07 Mesures luminotècniques en les instal·lacions d'enllumenat.

Mapa 1. Mapa de prevenció de la contaminació Iluminosa de Catalunya

Font: Generalitat de Catalunya, 2007

Emissions Iluminoses exteriors

La definició d'una zonificació del territori en categories té implicacions en relació a les emissions Iluminoses exteriors que es poden implantar en cada zona.

La normativa aplicable en aquest aspecte és la norma tècnica complementària ITC-EA-03.

La lluminositat del cel produïda per les instal·lacions d'il·luminació exterior depèn del flux hemisfèric superior instal·lat FHS_{inst} , és directament proporcional a la superfície il·luminada, i inversament proporcional als factors d'ús i de manteniment de la mateixa.

Per tant, s'estableixen una sèrie de limitacions per minimitzar els efectes negatius de la il·luminació. L'emissió directa de les lluminàries a implantar en cada zona no ha de superar mai els límits establerts en la taula que segueix.

Taula 1. Taula resum dels valors màxims dels paràmetres luminotècnics segons la zona.

Paràmetres luminotècnics	Valors màxims dels paràmetres luminotècnics			
	Espais d'interès natural, i àrees de protecció especial.	Àrees de sòl no urbanitzable	Àrees de sòl urbà o urbanitzable	Centres urbans i àrees comercials
	E1	E2	E3	E4
Flux hemisfèric superior (FHS inst)	≤ 1%	≤ 5%	≤ 15%	≤ 25%
Il·luminància vertical a finestres (Ev)	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensitat lluminosa emesa per les lluminàries (I)	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
Luminància mitja de les façanes (Lm)	5 cd/m ²	5 cd/m ²	10 cd/m ²	25 cd/m ²
Luminància màxima de les façanes (Lm)	10 cd/m ²	10 cd/m ²	60 cd/m ²	150 cd/m ²
Luminància màxima d'edificis, d'aparadors i finestres (Lm)	10 cd/m ²	40 cd/m ²	80 cd/m ²	100 cd/m ²
Luminància màxima de senyals i anuncis lluminosos (Lm)	50 cd/m ²	400 cd/m ²	800 cd/m ²	1.000 cd/m ²
Increment de l'umbral de contrast (TI)	Classe d'enllumenat			
	Sense il·luminació	ME 5	ME3 / ME4	ME1 / ME2
	TI = 15 % per adaptació a L = 0,1 cd/m ²	TI = 15 % per adaptació a L = 1 cd/m ²	TI = 15 % per adaptació a L = 2 cd/m ²	TI = 15 % per adaptació a L = 5 cd/m ²

Font: Pla Director d'Il·luminació de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2012)

2. ESTAT DE LA QÜESTIÓ

2.1. L'enllumenat públic en els municipis de l'AMB

A continuació s'analitza, amb la informació disponible, la situació del principal focus contaminant lumínic: l'enllumenat públic extern de les ciutats. Segons l'IDAE, el 95 % de les instal·lacions d'enllumenat exterior són públiques (viari, vial, ornamental, instal·lacions esportives, de seguretat). El 5% restant, es correspondria al sector privat: comercial/publicitari, domèstic, industrial i d'oci.

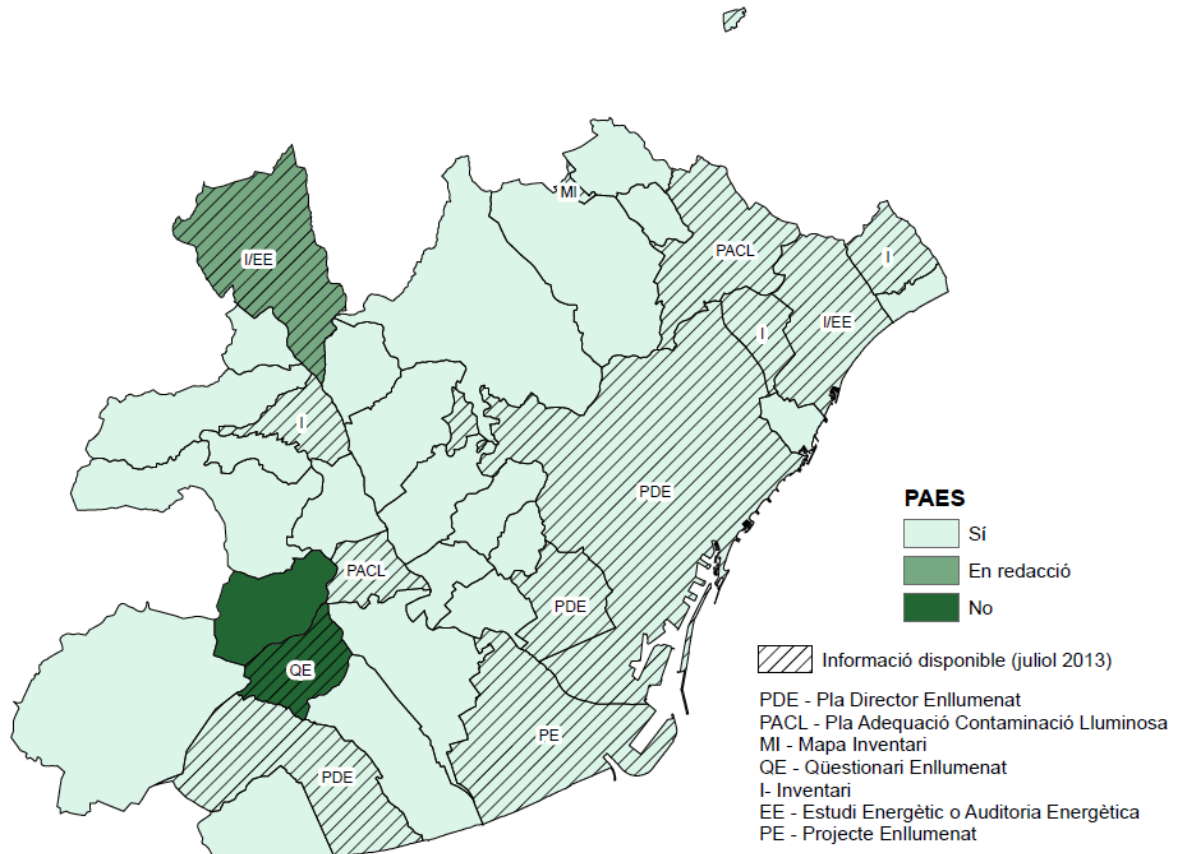
Fa molts anys que els ajuntaments metropolitans estan compromesos amb la renovació de les tipologies de làmpades en l'enllumenat públic, sobretot des d'un punt de vista de millora en l'eficiència energètica. No es tracta d'il·luminar menys, si no d'il·luminar millor. De totes maneres caldrà promoure des de les administracions públiques un canvi cultural de la ciutadania en general respecte a aquest tema, per tal d'entendre aquest canvi conceptual respecte a dècades anteriors.

L'àmbit d'anàlisi des del punt de vista de la reducció de la contaminació lumínica és més nou i per tant, el punt en el que es troben els ajuntaments d'aquest entorn respecte a aquest vector ambiental és molt divers.

Com a fonts d'informació base per fer aquesta aproximació a la diagnosi d'aquest vector, s'han consultat els Plans d'Acció per a l'Energia Sostenible dels 33 municipis que en

disposen⁴ i els Plans Directors d'Enllumenat Públic extern⁵, els Plans d'adaptació a la normativa de contaminació lluminosa⁶ o inventaris d'enllumenat públic⁷, en funció de la disponibilitat.

Imatge 1 Municipis de l'AMB amb Pla d'Acció d'Energia Sostenible (PAES) aprovat i Plans i Inventaris facilitats pels municipis fins juliol de 2013



Font: Elaboració pròpia.

Una de les principals mancances que s'ha trobat a l'hora d'analitzar les dades, ha estat la dificultat de disposar de dades actualitzades respecte als paràmetres que poden explicar la situació real de la il·luminació dels carrers dels municipis metropolitans. La major part dels municipis han fet al llarg dels últims anys una aposta per la millora de l'eficiència i qualitat d'il·luminació de les làmpades d'enllumenat públic que no es reflecteix en les dades amb les que hem pogut treballar. Alguns, fins i tot, han començat a abordar el tema també des de l'òptica de la minimització de la contaminació lumínica. La situació econòmica actual segurament no ha permès avançar més ràpid en aquest sentit per les limitacions

⁴ Badalona, Badia de Vallès, Barberà del Vallès, Barcelona, Begues, Castelldefels, Cerdanyola del Vallès, Cervelló, Corbera de LL., Cornellà de LL., Esplugues de LL., Gavà, L'Hospitalet de LL., Molins de Rei, Montcada i Reixac, Montgat, Pallejà, La Palma de Cervelló, El Papiol, El Prat de LL., Ripollet, Sant Adrià del Besòs, Sant Andreu de la Barca, Sant Boi de LL., Sant Cugat del Vallès, Sant Feliu de LL., Sant Joan Despí, Sant Just Desvern, Sant Vicenç dels Horts, Santa Coloma de Cervelló, Santa Coloma de Gramenet, Tiana i Viladecans

⁵ Barcelona, Gavà i l'Hospitalet

⁶ Montcada i Santa Coloma de Cervelló

⁷ Badalona i Castellbisbal (Inventari i Estudi Energètic); Pallejà, Santa Coloma de Gramenet i Tiana (Inventari) i Badia del Vallès, Sant Climent de Llobregat i el Prat de LL. (altres documents lumínics)

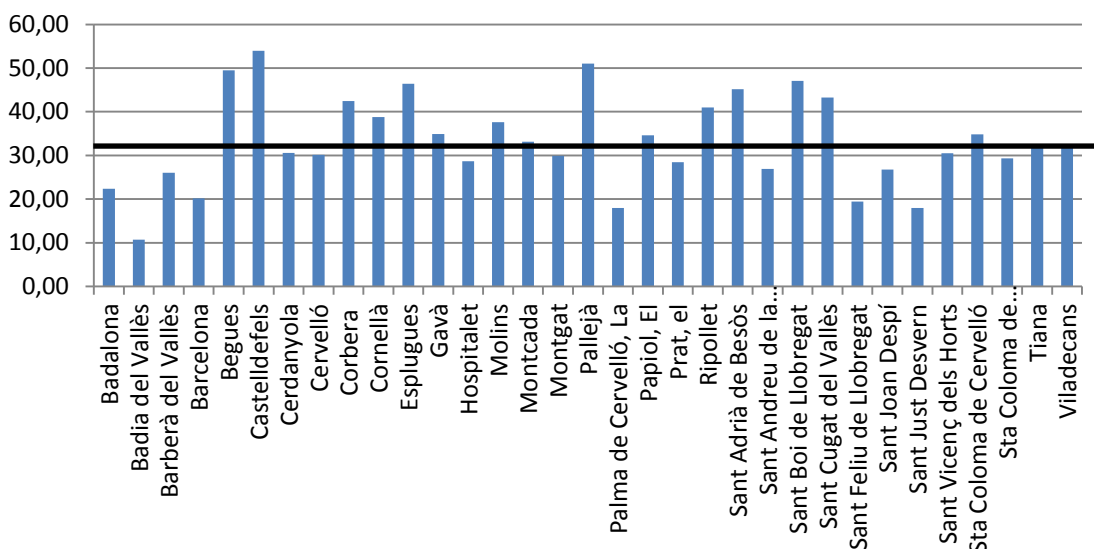
pressupostàries de les institucions públiques per afrontar noves inversions en els darrers anys.

Els efectes nocius de la contaminació lumínica en l'observació astronòmica i en l'entorn natural, són prou coneguts o imaginables per tothom. Fins i tot, la repercussió que pot tenir respecte a la intrusió de la intimitat de les persones. El que possiblement es relaciona menys amb aquest tipus de contaminació és l'increment de consum energètic associat.

A continuació es presenten tot un conjunt de gràfiques que poden ajudar a fer una primera aproximació a la diagnosi d'aquest vector.

Tal com es pot observar en les gràfiques 1 i 2, la mitjana del que representa el consum de l'enllumenat públic respecte al consum total de l'ajuntament, analitzat pels municipis de l'AMB dels que disposem dades, és de poc més d'un 33%, encara que en alguns casos pot superar el 50% i arribar al 75% de la factura energètica de l'ajuntament.

Gràfica 1 Percentatge que representa el consum energètic de l'enllumenat públic respecte al consum total dels ajuntaments de l'AMB (mitjana d'un 33,13 %)



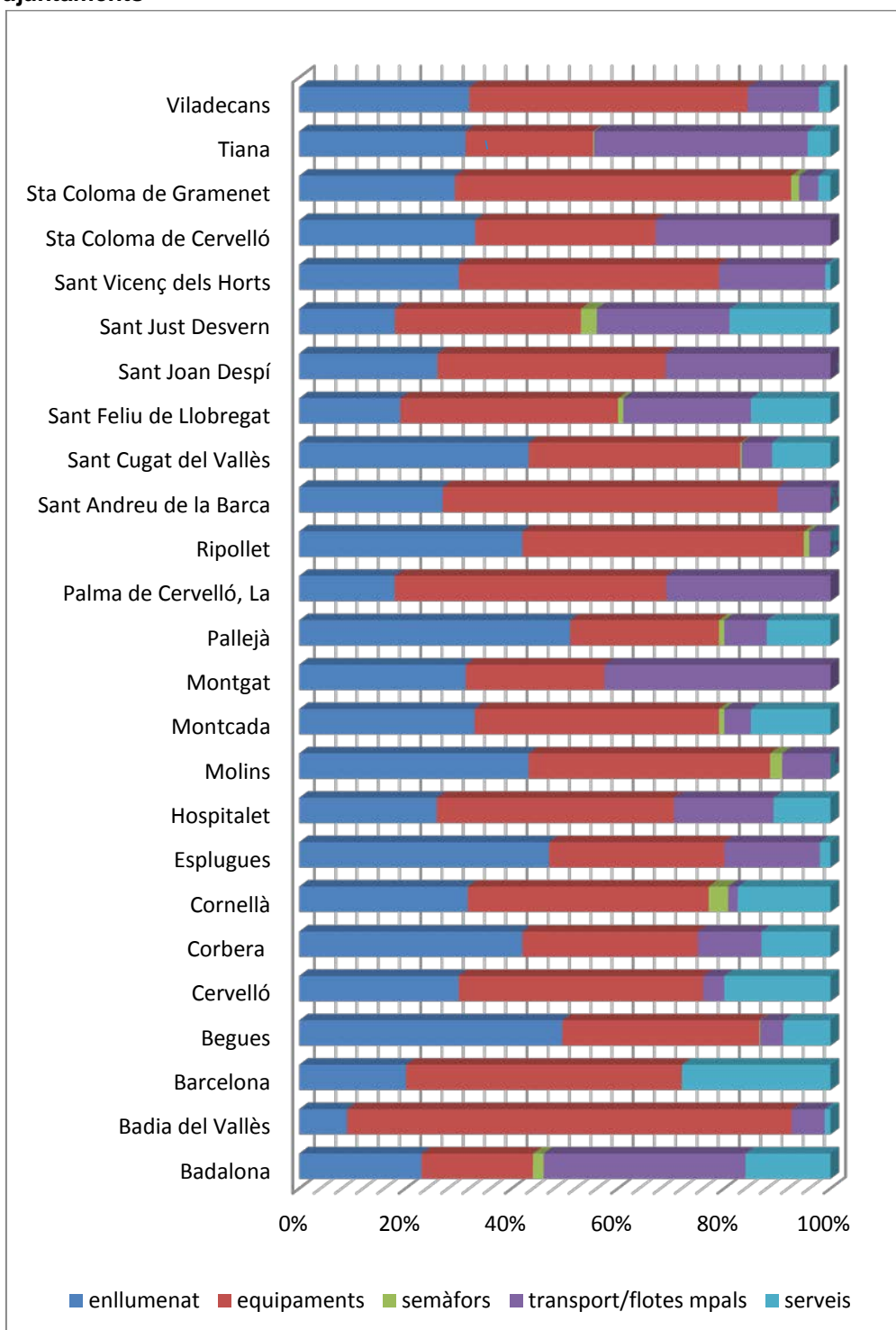
Font: Elaboració pròpia a partir de les dades dels 33 PAES municipals aprovats (dades any base comú, 2005)

L'enllumenat públic i els equipaments, són els dos principals sectors consumidors d'energia dels Ajuntaments, arribant i superant en molts casos el 80 % del consum energètic total. Per tant, incidir en aquest component esdevé estratègic des d'un punt de vista d'eficiència energètica i de sostenibilitat econòmica també.

En la següent gràfica queden representats els principals usos energètics a nivell d'ajuntaments per evidenciar el pes específic de cadascun d'ells. Donat que les dades de les que es disposen no són homogènies en les definicions de les diferents categories, les hem agrupat en: equipaments; enllumenat; semàfors⁸; transport públic i flotes de vehicles municipals; i un concepte general de serveis (on s'agrupen les categories de flota de vehicles externs, bombament d'aigua, transport de residus i altres serveis).

⁸ En els casos de L'Hospitalet, Montgat, Sant Andreu de la Barca i Sant Joan Despí; el consum elèctric dels semàfors es troba comptabilitzat conjuntament amb l'enllumenat

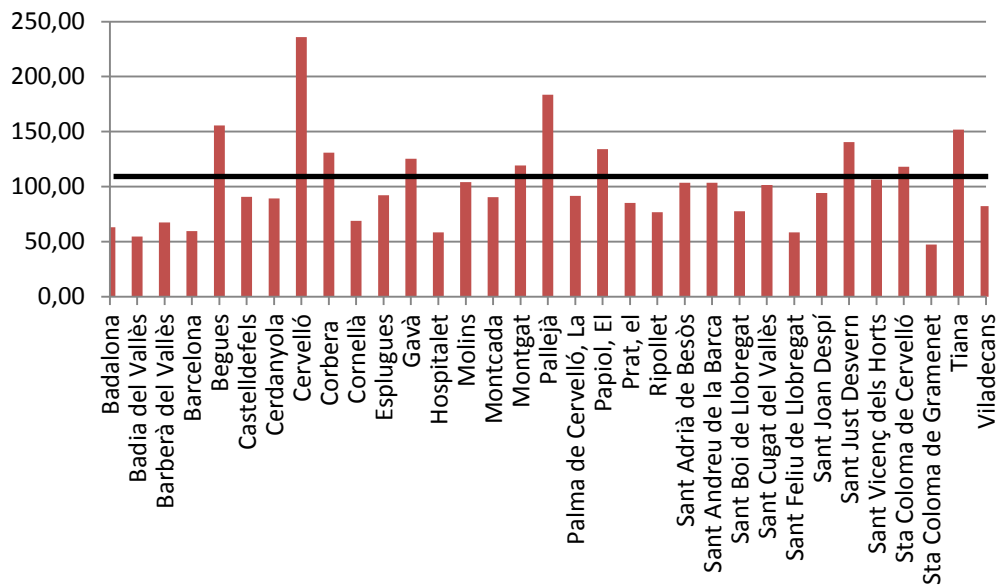
Gràfica 2 Consum energètic en % dels principals usos consumidors d'energia dels ajuntaments



Font: Elaboració pròpia a partir de les dades dels 33 PAES municipals aprovats (dades any base comú, 2005. A excepció de Barcelona, Cervelló i Sant Andreu de la Barca-2008 i de Badia del Vallès-2007)

Si analitzem el consum corresponent a l'enllumenat públic en termes absoluts per població, la mitjana és de poc més de 100 kWh/hab.

**Gràfica 3 Consum enllumenat públic per habitant dels municipis de l'AMB (kWh/ hab. i any)
Mitjana AMB de 101,90 kWh/hab. i any**

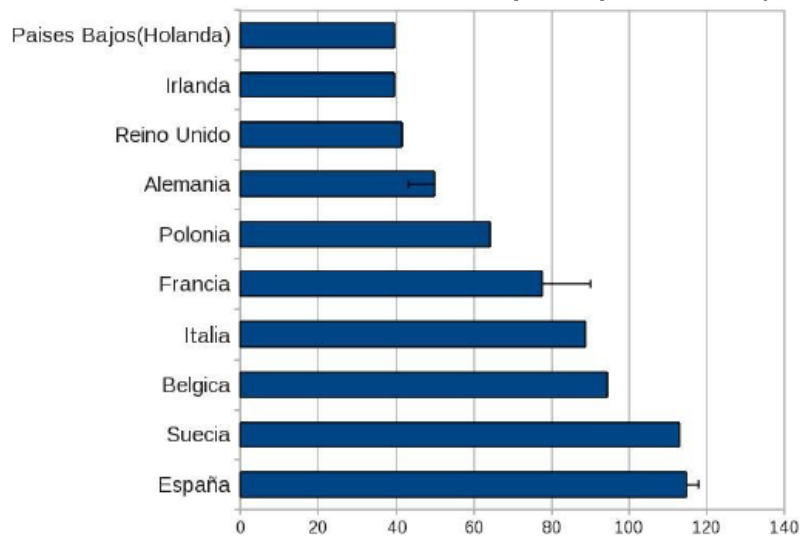


Font: Elaboració pròpia a partir de les dades dels 33 PAES municipals aprovats i de l'Idescat (any base comú, 2005)

Tenint en compte que la tendència dels últims anys ha estat la de reducció del consum i que les dades comparades són de fa més de 5 anys, segurament la situació actual per aquest ràtio de consum ha d'ésser molt més favorable.

Segons estudis publicats⁹, Espanya és el país europeu amb un major consum elèctric en enllumenat públic per habitant, d'entre 114-118 kWh/hab. (segons dades de l'IDAE), mentre a Alemanya o França és de 91 i 43 kWh/hab, respectivament. Tenint en compte que Espanya és el país europeu amb una major densitat de població en àrea construïda i un dels de major nombre d'hores de llum solar l'any, caldria esperar uns consums més baixos.

⁹ Informe del grupo de estudio de la contaminación lumínica del Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Universidad Complutense de Madrid. 2011

Gràfica 4 Consum elèctric en enllumenat públic per habitant (kWh/hab.) en deu països de la UE

Font: Universitat Complutense de Madrid. Informe del grupo de estudio de la contaminación lumínica del Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, 2011.

En aquest sentit, cal dir que l'objectiu del Pla d'Eficiència Energètica d'Espanya de 2004-2012, establia per aquest tema en concret assolir els 75 kWh/hab el 2012. L'objectiu de reducció de consums pel 2020 és d'un 6 % respecte al consum de 2010, per les més de 8 milions de lluminàries que hi ha estimades, amb un ús anual mig de 4.200 hores cadascuna d'elles.

Taula 2 Avaluació de l'enllumenat exterior a Espanya (2010) en funció de la mida dels municipis

Tamaño municipio	kWh/hab/a	W/Puntos de luz	Puntos de luz /1.000 hab	GWh/a	Puntos de luz
> 75.000 habitantes	62	202	73	1.265	1.493.782
40.001 a 75.000 hab	83	181	109	351	460.993
10.000 a 40.000 hab	91	200	108	969	1.151.938
< 10.000 hab	106	147	172	1.043	1.693.287
Total	80	180	106	3.629	4.800.000

Font: IDAE. Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020

L'experiència pilot que l'IDAE ha desenvolupat amb els ajuntaments d'Alcorcón, de Soto del Real i de Teruel per tal d'adequar les seves instal·lacions d'enllumenat a la normativa vigent i les auditories fetes en col·laboració amb el Comité Español de Iluminación sobre aquestes han evidenciat l'elevat potencial d'estalvi respecte al consum elèctric. Aquest podria arribar de fins el 45%, actuant sobre els elevats nivells d'il·luminació, sobretot en horari de nit avançada quan les necessitats del servei públic són molt més baixes; sobre la qualitat de les lluminàries i la reducció d'emissió de llum fora dels espais propis a il·luminar i sobre la regulació i control dels quadres de llum.

Pel que es desprèn d'aquests treballs, aquest potencial d'estalvi en termes econòmics pot permetre fer les inversions necessàries amb un període de retorn simple inferior als sis anys el que pot ser interessant per les empreses de serveis energètics (ESE).

Fruit de l'experiència, l'IDAE ha dissenyat un programa d'adequació dels municipis espanyols per prioritzar la transformació en les ciutats de més de 25.000 habitants (295 ciutats i 2300 GWh/ a) a través de ESE que disposaran d'una línia de finançament específic per aquest tema. Amb això, l'escenari preveu que per l'any 2020 s'hagi executat en un 75%, amb un estalvi mig del 30% del seu consum en il·luminació i un 10 % de la resta de municipis espanyols amb un estalvi mig també del 30% en el seu consum elèctric.

Taula 3 Resum de l'escenari del Pla espanyol

	Ahorros de energía final (ktep)		Ahorros de energía primaria (ktep)		Emisiones evitadas de CO ₂ (ktCO ₂)		Apoyos gestión pública (M€)			Inversiones (apoyo + aportación privada) (M€)		
	2016	2020	2016	2020	2016	2020	2011-2016	2017-2020	2011-2020	2011-2016	2017-2020	2011-2020
Servicios públicos	56	125	131	295	281	631	86	57	143	485	324	809
Renovación de las instalaciones de alumbrado público exterior existentes	19	58	46	136	97	292	62,7	41,8	104,5	416,3	277,5	693,8
Estudios, análisis de viabilidad y auditorias en instalaciones de alumbrado exterior existentes							10,0	6,7	16,7	20,0	13,3	33,3
Formación de gestores energéticos municipales							4,3	2,8	7,1	4,3	2,8	7,1
Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones actuales de potabilización, abastecimiento, depuración de aguas residuales y desalación	36	67	86	158	184	339	9,0	6,0	15,0	45,0	30,0	75,0

Nota: los cálculos de emisiones de CO₂ evitadas como resultado de las medidas de ahorro y eficiencia energética incorporadas en este Plan son cálculos efectuados *ad hoc* para el mismo y suponen una traducción de los ahorros calculados en diferentes bases (2004 y 2007), en términos de energía final y primaria, a emisiones de CO₂ evitadas; este cálculo no tiene por qué coincidir, por tanto, con los realizados con enfoques o bases contables distintos como parte de los informes periódicos realizados en relación con la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

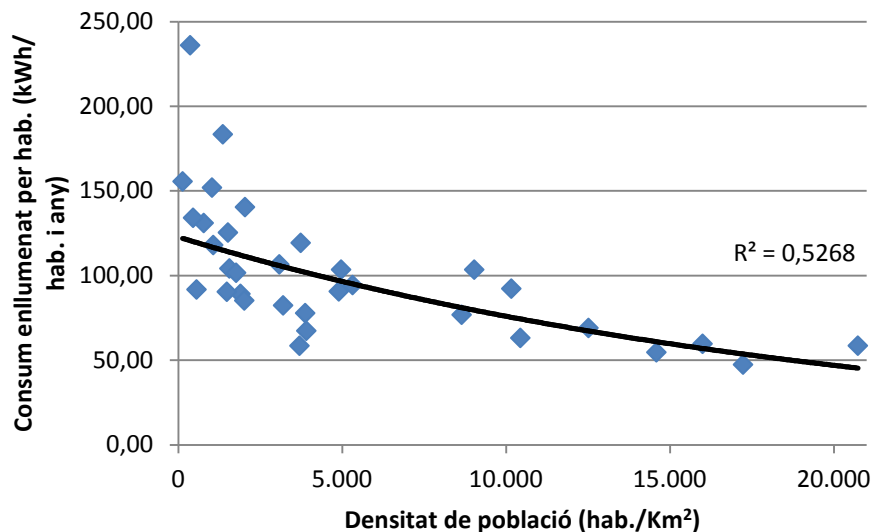
Font: IDAE. Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020

A nivell català, s'estima el consum d'energia per a l'enllumenat exterior és de l'ordre dels 1000 GWh¹⁰ per l'any 2009, el que representaria uns 133.77 kWh/ hab.i any.

Un altre dels vectors que pot explicar les diferències de consums entre municipis de l'AMB és el seu caràcter més o menys dens i més o menys dispers.

¹⁰ Segons Lluís Ferrero i Andreu . Direcció d'Estudis i Prospectiva de l'Àrea de la Presidència de la Diputació de Barcelona. Cursos de formació energètica per als tècnics de l'Administració, 2009

Gràfica 5 Consum enllumenat públic per habitant dels municipis AMB respecte a la densitat de població dels mateixos

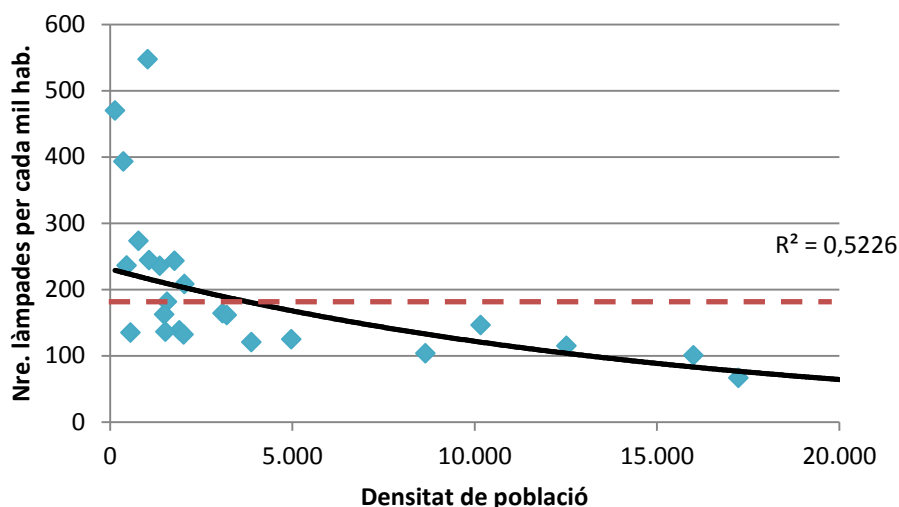


Font: Elaboració pròpia a partir de les dades dels 33 PAES municipals aprovats i de l'Idescat (any base comú, 2005)

Tal com es pot veure a la Gràfica 5 es pot interpretar que a mesura que augmenta la densitat del municipi, baixa el consum de l'enllumenat públic per habitant. Caldria analitzar si els municipis que tenen un consum per sota de l'esperable en base a la línia de tendència, ja havien fet alguna intervenció de millora de l'eficiència l'any de base.

En el cas de l'indicador del nombre de làmpades per cada 1.000 habitants, es pot apreciar una tendència de condicionament per la tipologia de municipi respecte a la distribució de la població (veure gràfiques 6 i 8 i Taula 3).

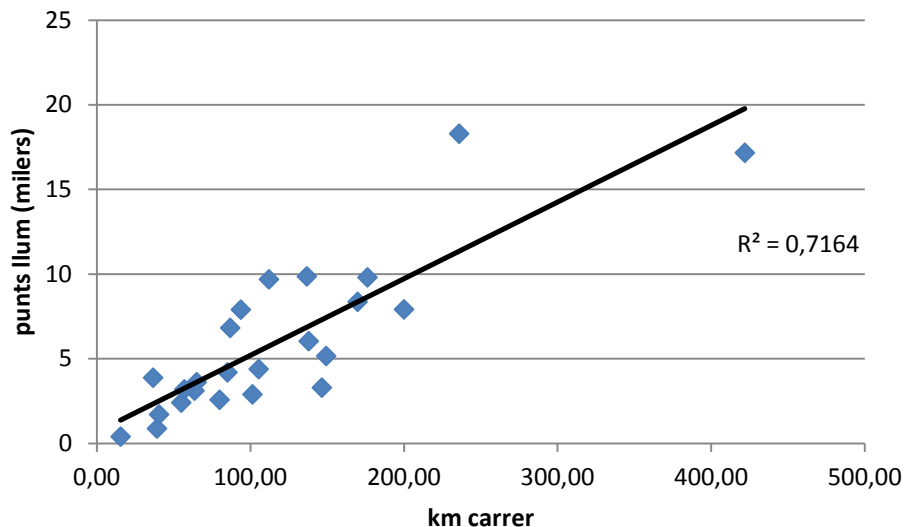
Gràfica 6 Nombre total de punts de llum per cada mil hab. respecte a la densitat de població



Font: Elaboració pròpia a partir de les dades dels 33 PAES municipals aprovats (per tant, tots els municipis metropolitans a excepció de Castellbisbal, Sant Climent de Llobregat i Torrelles de Llobregat) i dels inventaris d'enllumenat públic i Plans Directors d'Enllumenat d'alguns dels municipis. Les dades de densitat de població a partir de l'Idescat (any base comú, 2005)

Així, els municipis d'una tipologia més rural o residencial o que tenen un percentatge important de polígons respecte a la superfície urbana i per tant de densitats més baixes, presenten uns valors més elevats (pugen a valors clarament per sobre de 200 làmpades per cada 1.000 habitants), mentre que els municipis d'altres densitats de població es mouen al voltant de les 100 làmpades per cada mil habitants (mitjana per l'AMB de 196,64 làmpades per cada 1000 habitants¹¹). En els extrems trobaríem a Barcelona amb poc més de 100 làmpades per cada mil hab. i Tiana, amb més de 540.

Gràfica 7 Nombre total de punts de llum respecte als Km de carrer de cada municipi¹²

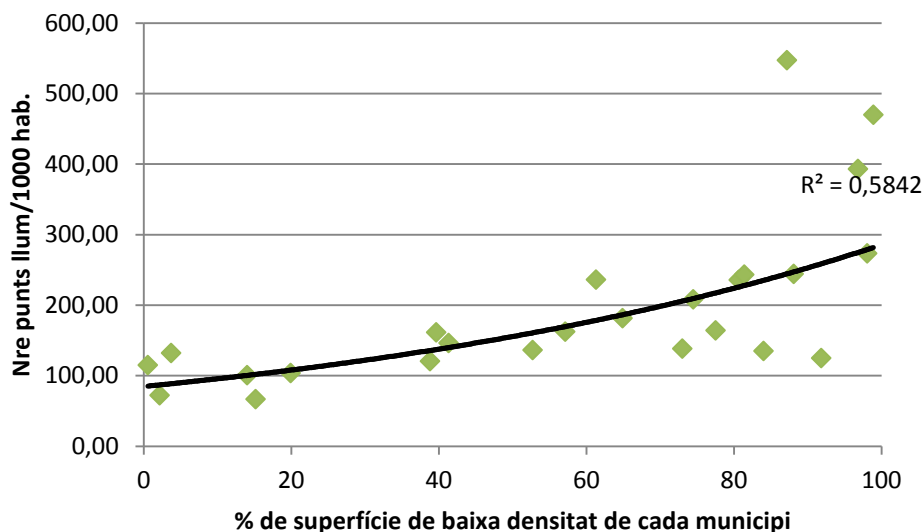


Font: Elaboració pròpia a partir de les dades dels 33 PAES municipals aprovats (per tant, tots els municipis metropolitans a excepció de Castellbisbal, Sant Climent de Llobregat i Torrelles de Llobregat) i dels inventaris d'enllumenat públic i Plans Directors d'Enllumenat d'alguns dels municipis. Les dades de densitat de població a partir de l'Idescat (any base comú, 2005).

Com era esperable i es comprova en la gràfica anterior, als municipis amb més metres lineals de carrer a il·luminar, els corresponen uns valors més alts de punts de llum. Igualment, si el que relacionem gràficament amb els punts de llum és l'indicador percentual de superfície amb baixa densitat respecte la total del municipi, coincideix la tendència esperada d'una major proporció de llums en aquells amb teixits urbans menys densos.

¹¹ Calculada pels 25 municipis dels que es disposen dades (Barcelona, Begues, Cerdanyola del Vallès, Cervelló, Corbera de Llobregat, Cornellà de Llobregat, Esplugues de Llobregat, Gavà, l'Hospitalet de Llobregat, Molins de Rei, Montcada i Reixac, Palau de Gurb, Palma de Cervelló, el Papiol, el Prat de Llobregat, Ripollet, Sant Andreu de la Barca, Sant Boi de Llobregat, Sant Cugat del Vallès, Sant Just Desvern, Sant Vicenç dels Horts, Santa Coloma de Cervelló, Santa Coloma de Gramenet, Tiana i Viladecans)

¹² Ídem nota 11, En aquest cas s'ha exclòs les dades de Barcelona, tot i que compleix amb la línia de tendència, per tal de fer la gràfica visualment més aclaridora.

Gràfica 8 Nombre de punts de llum per cada mil habitants respecte al % de superfície de baixa densitat de cada municipi¹³

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades dels 33 PAES municipals aprovats (per tant, tots els municipis metropolitans a excepció de Castellbisbal, Sant Climent de Llobregat i Torrelles de Llobregat) i dels inventaris d'enllumenat públic i Plans Directors d'Enllumenat d'alguns dels municipis. Les dades de % de superfície de baixa densitat de cada municipi

Per finalitzar l'anàlisi, en la següent taula, si ens fixem en els municipis amb un nombre de punts de llum¹⁴ per cada mil habitants per sobre dels 200 (destacats en la taula), podem comprovar com es corresponen quasi en la seva totalitat amb els municipis que tenen més d'un 80 % de la seva superfície amb baixa densitat d'ocupació (destacats en la taula). Si ho fem respecte de l'indicador de densitat de població, en general els valors de densitat de població també són baixos (per sota dels 2.500 hab. /Km², destacats en la taula).

En coherència, si el que analitzem és el que passa amb els municipis amb altes densitats de població, les seves superfícies municipals amb baixa densitat són molt baixes i els hi correspon uns ràtios de punts de llum per cada mil habitants, igualment continguts.

Per tant, podríem avançar que les necessitats d'il·luminació viària en aquells municipis de baixes densitats d'ocupació o de població, s'han de cobrir amb un major nombre de punts de llum per habitant, que aquells que tenen el seu nucli poblacional dens.

Taula 4 Indicadors sobre enllumenat públic dels municipis de l'AMB¹⁵

municipi	densitat de població (hab. Km ²)	Punts llum/1000 hab.	Km carrer	% sup. municipal amb baixa densitat
Barcelona	15.993,50	100,83	1.653,65	14,00
Begues	129,3	470,02	79,84	98,89
Cerdanyola del Vallès	1.894,40	138,48	199,89	72,99
Cervelló	359,3	393,20	101,24	96,80

¹³ Ídem nota 11

¹⁴ En els municipis on no es disposen les dades respecte al nombre de làmpades, es fa una aproximació amb el nombre de punts de llum

¹⁵ Ídem nota 11

Corbera de Llobregat	773	273,51	146,39	98,05
Cornellà de Llobregat	12.511,90	115,13	111,96	0,54
Esplugues de Llobregat	10.157,80	146,44	86,74	41,31
Gavà	1.511,80	136,46	137,84	52,70
l'Hospitalet de Ll.	20.730,40	72,32	235,77	2,14
Molins de Rei	1.556,10	181,63	84,95	64,89
Montcada i Reixac	1.478	162,52	149,22	57,12
Pallejà	1.356	235,87	54,89	80,64
Palma de Cervelló	553,7	135,14	15,42	84,00
el Papiol	448,5	236,30	39,07	61,29
el Prat de Llobregat	2.010,90	132,25	169,68	3,70
Ripollet	8.642,50	103,87	64,92	19,90
Sant Andreu de la Barca	4.964,70	125,09	63,52	91,82
Sant Boi de Llobregat	3.869,10	120,72	176,09	38,79
Sant Cugat del Vallès	1.761,30	243,40	421,73	81,39
Sant Just Desvern	2.032,50	208,35	56,89	74,47
Sant Vicenç dels Horts	3.079,40	164,30	105,29	77,50
Santa Coloma de Cervelló	1.063,30	244,40	40,45	88,09
Santa Coloma de Gramenet	17.227,60	66,83	93,66	15,15
Tiana	1.025,30	547,39	36,56	87,17
Viladecans	3.195,50	161,54	136,63	39,63

* Es destaquen en groc els municipis amb nombre de punts de llum per cada mil habitants per sobre dels 200, els municipis amb més d'un 80% de la seva superfície amb baixa densitat i els municipis amb densitat per sota dels 2.500 hab/km².

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades dels 33 PAES municipals aprovats (per tant, tots els municipis metropolitans a excepció de Castellbisbal, Sant Climent de Llobregat i Torrelles de Llobregat) i dels inventaris d'enllumenat públic i Plans Directores d'Enllumenat d'alguns dels municipis. Les dades de densitat de població a partir de l'Idescat (any base comú, 2005). Les dades de % sup. municipal amb baixa densitat del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya.

Si volem contrastar aquestes dades amb les recollides per alguns municipis de l'entorn més recents, podem fer-ho aprofitant les dades dels Cercles de Comparació intermunicipals organitzats per la Diputació de Barcelona. Durant tot l'any 2012 van organitzar la tercera edició del Cercles de Comparació intermunicipal d'Eficiència Energètica en l'Enllumenat Públic, amb la participació de 18 municipis majors de 10.000 habitants majoritàriament de la província de Barcelona¹⁶, (4 d'ells del territori AMB: Badalona, El Prat de Llobregat, Sant Cugat del Vallès i Santa Coloma de Gramenet). El següent resum de dades mostra com els resultats obtinguts per l'estudi de la Diputació són similars.

¹⁶ Argentona, Badalona, Cabriels, Canet de Mar, Consell Comarcal Osona, Granollers, Igualada, Les Franqueses del Vallès, Manresa, Mataró, El Prat de Llobregat, Sabadell, Sant Cugat del Vallès, Sant Quirze del Vallès, Santa Coloma de Gramenet, Terrassa, Vilafranca del Penedès i Reus

Taula 5 Resum d'alguns indicadors de gestió sobre enllumenat públic, dels municipis participants a l'estudi

Disposar d'instal·lacions eficients	Total	Reducir les emissions de CO ₂	Total
Número total de làmpades per cada 1.000 habitants.	149	Kg de CO ₂ eq emesos respecte el número total de làmpades	120
Potència total instal·lada (equips + làmpada) respecte el número total de làmpades (W/làmpada)	138	Kg de CO ₂ eq emesos per habitant	18
Lúmens totals instal·lats respecte la potència instal·lada	79		
% Inspeccions periòdiques obligatòries desfavorables respecte el número total de quadres	50 %		

Gestionar el servei amb les diverses formes de gestió - Subministrament elèctric	Total	Oferir un servei de qualitat (model de gestió)	Total
% Gestió directa del subministrament elèctric (Ajuntament, Emp. Municipal, Consell Comarcal, etc)	100,0 %	Número total de làmpades respecte la superfície de sòl urbà (làmpades / km ²)	1.282
% Gestió indirecta del subministrament elèctric (concessió, altres...)	0,0 %	Potència total instal·lada (equip + làmpada) respecte la superfície de sòl urbà (kW / km ²)	178
Gestionar el servei amb les diverses formes de gestió - Manteniment	Total	Número total de làmpades per treballador/a del servei	1.291
% Gestió directa del servei de manteniment (Ajuntament, Emp. Municipal, Consell Comarcal, etc)	6,0 %	Número total d'averies per treballador/a del servei	159
% Gestió indirecta del servei de manteniment (concessió, altres...)	94,0 %		

Millorar la qualitat de la llum	Total	Disposar d'una contractació adequada	Total
% de lluminàries amb contaminació lumínica (catàleg) respecte el número total de lluminàries	5 %	Potència total contractada (equip + làmpada) respecte la potència instal·lada (kWc/kWi)	1,5
		Consum elèctric per habitant (kWh/hab.)	74
		Número de punts de llum per quadre	69
		% de quadres amb subministrament elèctric en el mercat lliure	62 %

Disposar de tecnologia eficient	Vapor de Mercuri	Halogenus	Fluorescents/ baix consum	Vapor de sodi d'alta pressió	Vapor de sodi de baixa pressió	LED	Altres làmpades	Total
% tipus de làmpades respecte el número total de làmpades	6,40 %	11,50 %	8,50 %	70,70 %	0,04 %	1,84 %	0,96 %	100 %

Disposar d'una gestió eficient	En capçalera	Punt a punt	Llina comandament	Altres sistemes de regulació	Sense regulació	Total
% de potència instal·lada amb sistema de regulació de flux lluminós respecte a la potència total instal·lada	28,00 %	0,42 %	32,00 %	2,00 %	38,00 %	100 %

Font: Informe final de la 3^a edició del Cercle de Comparació Intermunicipal d'Eficiència Energètica en l'Enllumenat Públic. Diputació de Barcelona, 2012 (dades del 2011)

Respecte als paràmetres més directament relacionats amb la contaminació lumínica, el principal *handicap* amb el que ens trobem és la poca informació disponible i en molts casos fins i tot desfasada perquè no ha estat actualitzada. Tot i això pot servir per conèixer en quin punt ens trobem en cadascun dels municipis de l'AMB i avaluar-ne les necessitats.

Com dèiem anteriorment, són pocs els municipis que poden facilitar dades respecte als indicadors de fluxos d'hemisferi superior (FHSi), o dels sistemes de regulació d'encesa o de potència dels seus quadres de llum, de les potències totals instal·lades, de telegestió...

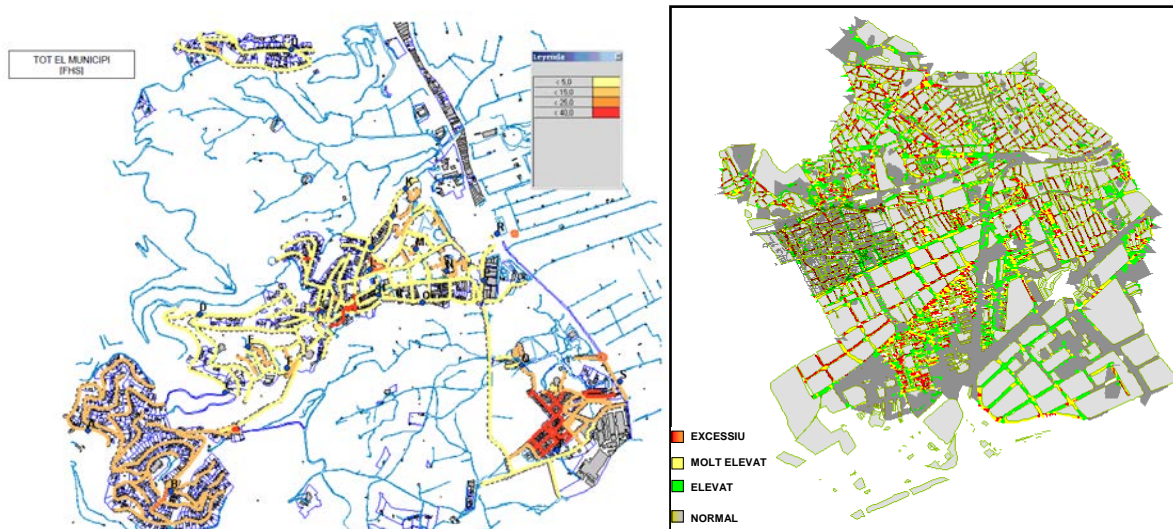
Les principals causes de la contaminació lluminosa solen ser:

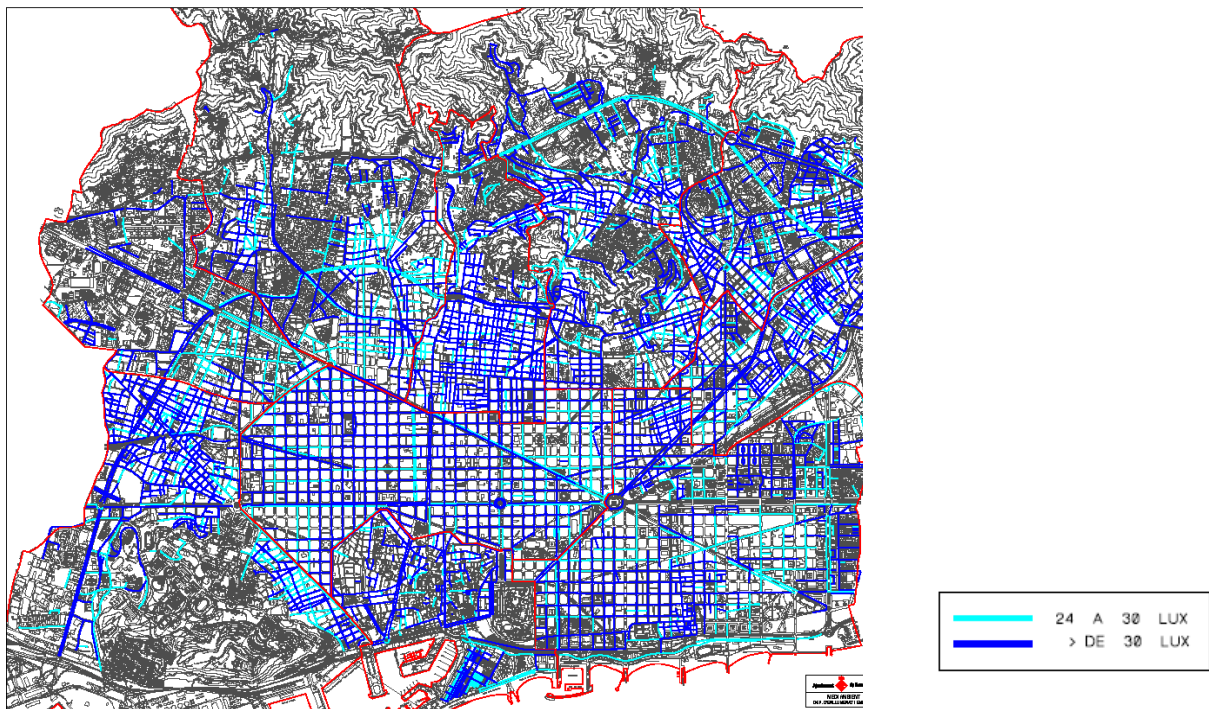
- L'ús de lluminàries o òptiques d'enfocament que no dirigeixen el flux lluminós correctament, si no que el llencen cap a l'hemisferi superior o cap a angles allunyats de la zona a il·luminar
- L'ús de làmpades amb una emissió lluminosa en les zones de menor longitud d'ona dins l'espectre visible (halogenurs metàl·lics, fluorescents, vapor de mercuri,...)
- El reflex de flux lluminós que es pot produir en calçades o façanes. Per tant el tipus de superfície de l'entorn a il·luminar el condiciona, i no només l'emissió. En alguns casos, el 70% de la llum contaminant prové del reflex del paviment.

Cal tenir en compte per tant que factors com ara l'alçada i disposició dels punts de llum, el color de la il·luminació, la distribució fotomètrica de les lluminàries, l'espai o objecte a il·luminar, la funcionalitat o ús de l'espai a il·luminar o l'equilibri del nivell d'il·luminació entre diferents zones condicionaran l'existència en un major grau de contaminació lumínica.

Una bona eina per a conèixer la realitat municipal des del punt de vista lumínic, són els mapes de Flux d'hemisferi superior o els de Lluminositat. Només en tenen, segons la informació de la que disposem, els ajuntaments de Barcelona, Gavà, l'Hospitalet i Santa Coloma de Cervelló.

Imatge 2 Exemples de mapes de FHSi i de Lluminositat

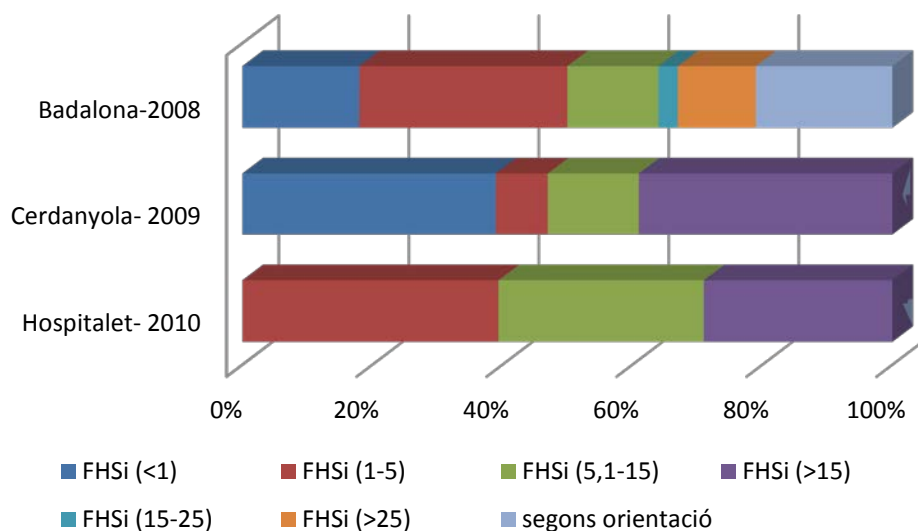




Font: Plans Directors d'Enllumenat Públic extern de Barcelona i de l'Hospitalet; i Plan d'adaptació a la normativa de contaminació Iluminosa de Santa Coloma de Cervelló

Un dels principals indicadors per avaluar la contaminació lumínica dels elements d'enllumenat públic és l'índex de FHS_{inst} de les lluminàries. En la següent gràfica es fa una aproximació, en funció de la informació disponible, respecte al percentatge de lluminàries que es corresponen amb cada franja de FHS_{inst} ,

Gràfica 9 Caracterització de les lluminàries (%) segons FHS_i



Font: Elaboració pròpia a partir del PAES de Cerdanyola (2009), i dels Plans Directors d'Enllumenat de l'Hospitalet (2010) i de l'Estudi Energètic i Inventari de Badalona (2008)

Els quadres de llum són un element molt important a l'hora d'incidir respecte a la reducció de la contaminació lluminosa de l'enllumenat públic. Són l'eina de control de totes les lluminàries connectades i per tant, de les característiques dels mateixos en depèn la capacitat o no d'adaptar la il·luminació a la demanda del servei. Aquesta intervenció es pot

fer des de dos nivells: el sistema de control per a l'encesa dels punts de llum, i la regulació de la potència emesa en funció de les necessitats d'ús. En la següent taula recopilem totes les dades disponibles respecte a la caracterització dels quadres de llum.

Taula 6 Caracterització en % dels quadres de llum en funció del sistema de regulació de potència i del sistema d'encesa

municipi	regulació de potència				Sistema d'encesa					
	Sense Regulació	en capçalera	de doble nivell	Apagada parcial	manual	Foto-cèl·lules	Relotge astronòmic	Relotge analògic	sense dades	Tele-control
Hospitalet-2010	64,71	6,57	28,37	0,35	0,35	47,06		46,02	6,57	
Badalona-2008	78,6	15,71	5,69			2	56			42
Castellbisbal-2009	45	55				2	98			
Cerdanyola-2009	53,9	23,4	22,7			4,7	87,5	7,8		
Montcada-2009	82		18							
Sta. Coloma Cervelló-2007	32,86	4,76	38,1			76,19	23,81			

Font: Elaboració pròpia a partir dels PAES, dels Plans Directors d'Enllumenat, de l'Estudi Energètic i Inventaris disponibles

2.2. Contaminació Iluminosa de l'AMB

Com s'ha dit anteriorment, la normativa catalana en termes de contaminació Iluminosa estableix el mapa de prevenció de la contaminació Iluminosa, que zonifica el territori en quatre categories segons la seva vulnerabilitat i estableix uns valors màxims d'emissió Iluminosa en cada categoria.

En l'àmbit de la AMB, pràcticament la meitat de la superfície correspon a la categoria E3-Protecció moderada (Taula 7 i Mapa 1). A parts iguals es reparteixen les categories E1 i E2, i una part molt minoritària correspon a la categoria E4.

Taula 7. Categories del mapa de prevenció de la contaminació Iluminosa i superfícies a l'AMB

	sup AMB (ha)	%
E1 – Protecció màxima	16.224,80	25,54
E2 – Protecció alta	15.584,33	24,53
E3 – Protecció moderada	31.234,67	49,16
E4 – Protecció menor	493,87	0,78

Font: Elaboració pròpia

A banda d'aquest mapa no hi ha més informació territorial específica de l'àmbit de la AMB sobre la contaminació Iluminosa. Aquest mapa permet identificar les zones més vulnerables però no es disposa de cap informació sobre l'emissió de llum en el territori metropolità. Per això s'ha buscat quina informació hi ha disponible sobre aquesta temàtica que pugui aportar més coneixement sobre l'estat actual del cel metropolità.

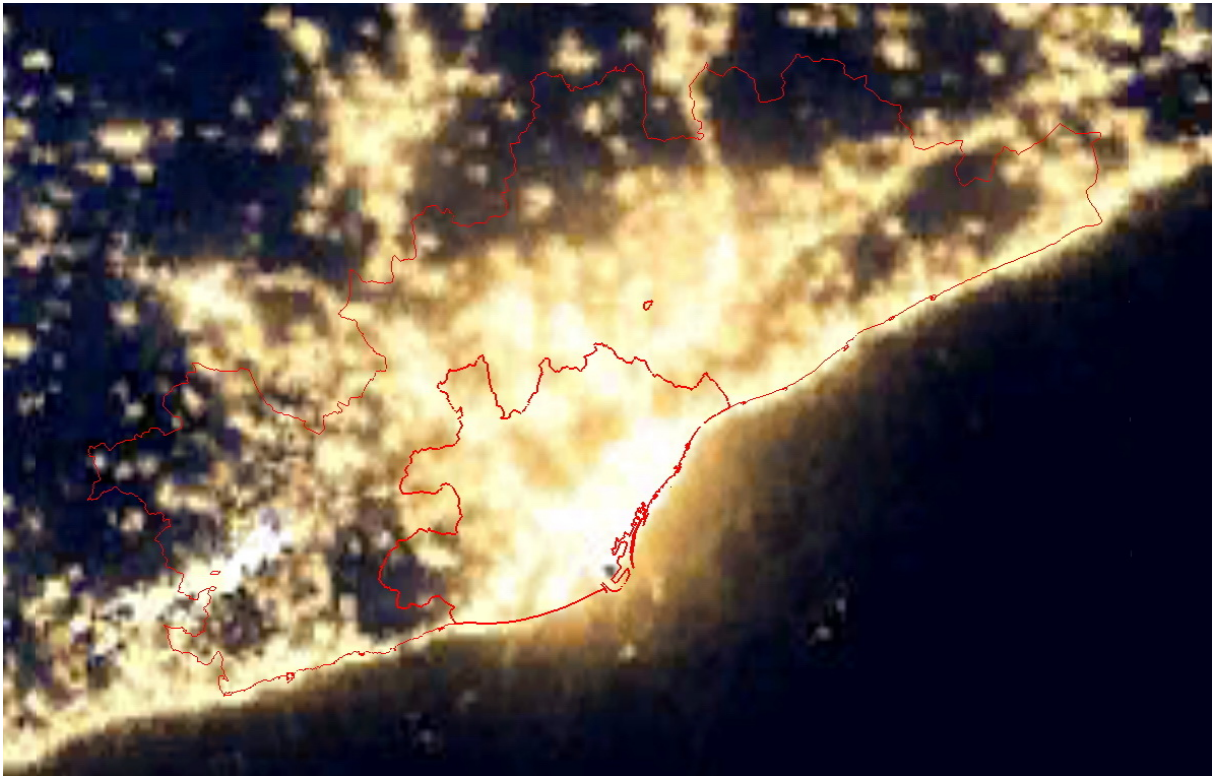
A continuació es presenten els mapes de radiància, el mapa de lluminositat nocturna a nivell del mar, el de lluminositat nocturna total i el de visibilitat d'estrelles. En el proper capítol es contrasten aquests mapes amb el mapa de prevenció de la contaminació Iluminosa de l'AMB.

2.2.1. Radiància

Els mapes de radiància mostren el flux de llum que retorna a l'atmosfera. Es fan a partir d'imatges de satèl·lit nocturnes. S'han trobat mapes de radiància procedents dels satèl·lits de la NASA i de la NOAA. La disponibilitat d'imatges de satèl·lit nocturnes de la terra amb alta resolució espacial permeten obtenir informació quantitativa del flux superior de llum emès.

Les imatges nocturnes de la terra procedents de la NASA, que es poden veure a través del visor *blue marble* i mapa *black marble*, procedeixen del satèl·lit Suomi NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership). Les imatges s'han fet gràcies a la banda dia-nit del satèl·lit i el radiòmetre d'infraroig i visible, que detecta la llum en el rang de longitud d'ona entre verd i infraroig proper i utilitza tècniques de filtre per detectar senyals febles com llums de ciutats, cremes de gas, aurores, incendis forestals o reflexió de la llum nocturna.

A continuació es pot veure la imatge del cel nocturn a l'àmbit metropolità. En tot aquest entorn, la contaminació Iluminosa és important.

Mapa 2. Night-lights imagery by NASA's Earth Observatory

Font: *Blue Marble Navigator*

Els mapes de radiància que es poden obtenir a través de la NOAA procedeixen del sistema operatiu de rastreig (*Operational Landscan System, OLS*) del Programa de Satèl·lit Meteorològic de Defensa (DMSP), i tenen un registre de dades des de 1992.

Fins al 1992 els mapes globals de fonts de llum no distingien entre llums persistents de ciutats i llums efímeres d'esdeveniments com el foc. A mitjans dels anys 90 Elvidge et al (1997) van produir una composició de llums sense núvols utilitzant les sèries de dades de les observacions del satèl·lit DMSP identificant les localitzacions de fonts de llum persistents (*stable lights*).

El radiòmetre del sistema OLS té capacitat de fer imatges del visible a l'infraroig tèrmic amb una resposta espectral de 440 a 940 nm, i amb la major sensibilitat a la regió 500-650 nm, cobrint el rang d'emissions primàries de la major part de les làmpades utilitzades per il·luminació exterior: vapor de mercuri (545 i 575 nm), sodi alta pressió (540-630 nm) i sodi de baixa pressió (589 nm).

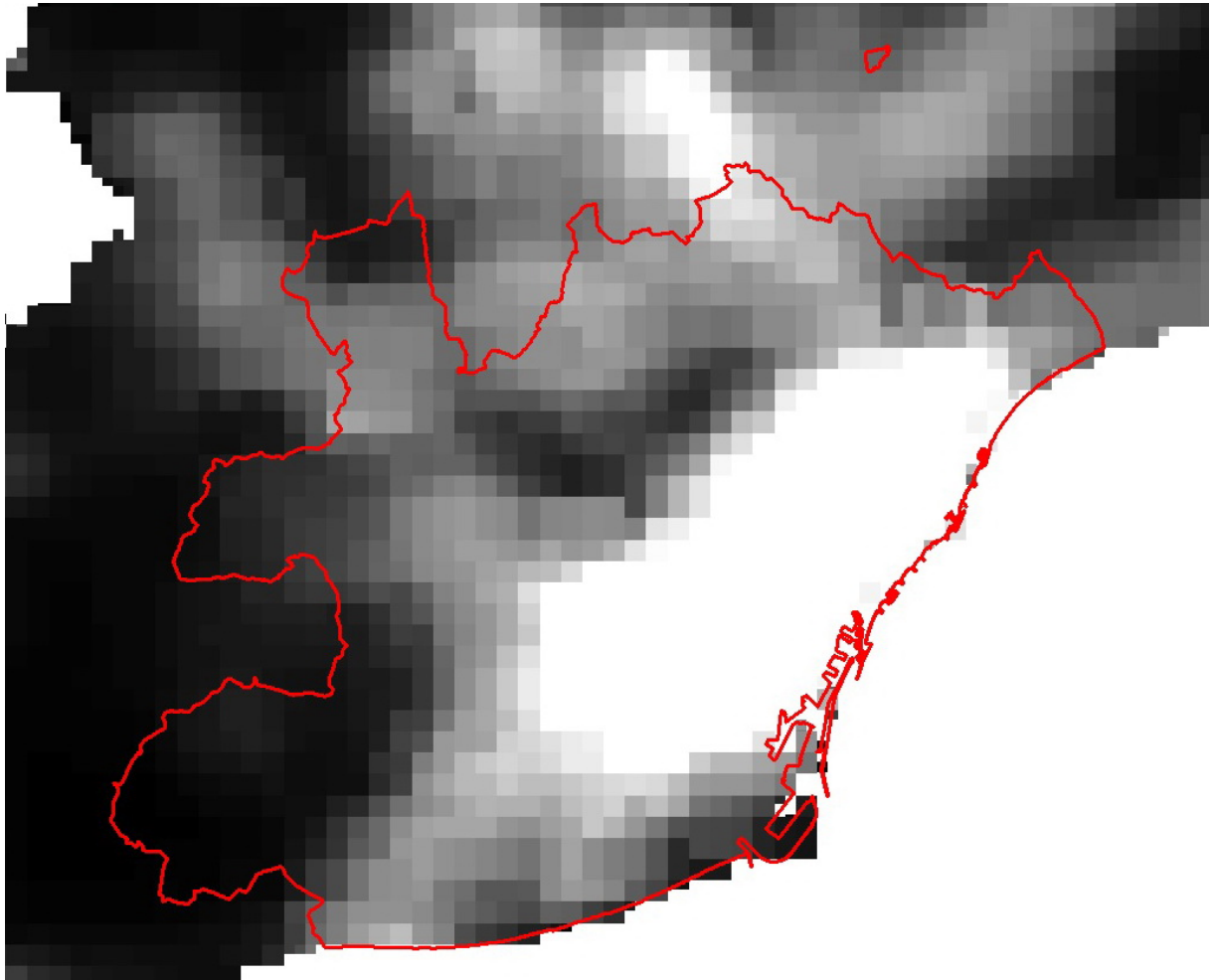
La banda visible del OLS opera amb un ajust que permet detectar els núvols il·luminats per la llum de la lluna, tot i que les dades es saturen en els il·luminats centres urbans.

La combinació entre registres amb poca il·luminació lunar i els registres d'operació normal amb menys sensibilitat permeten fer mapes de radiància global calibrats sense saturació del sensor.

En el Mapa 2 es pot veure el mapa de radiància calibrat de la AMB. L'escala de valors d'aquest mapa és entre 0 (blanc) i 82 (negre). La calibració preoperacional del sensor OLS del satèl·lit F16 permet convertir els valors del mapa en unitats de radiància ($\text{Watts/cm}^2/\text{sr}$)

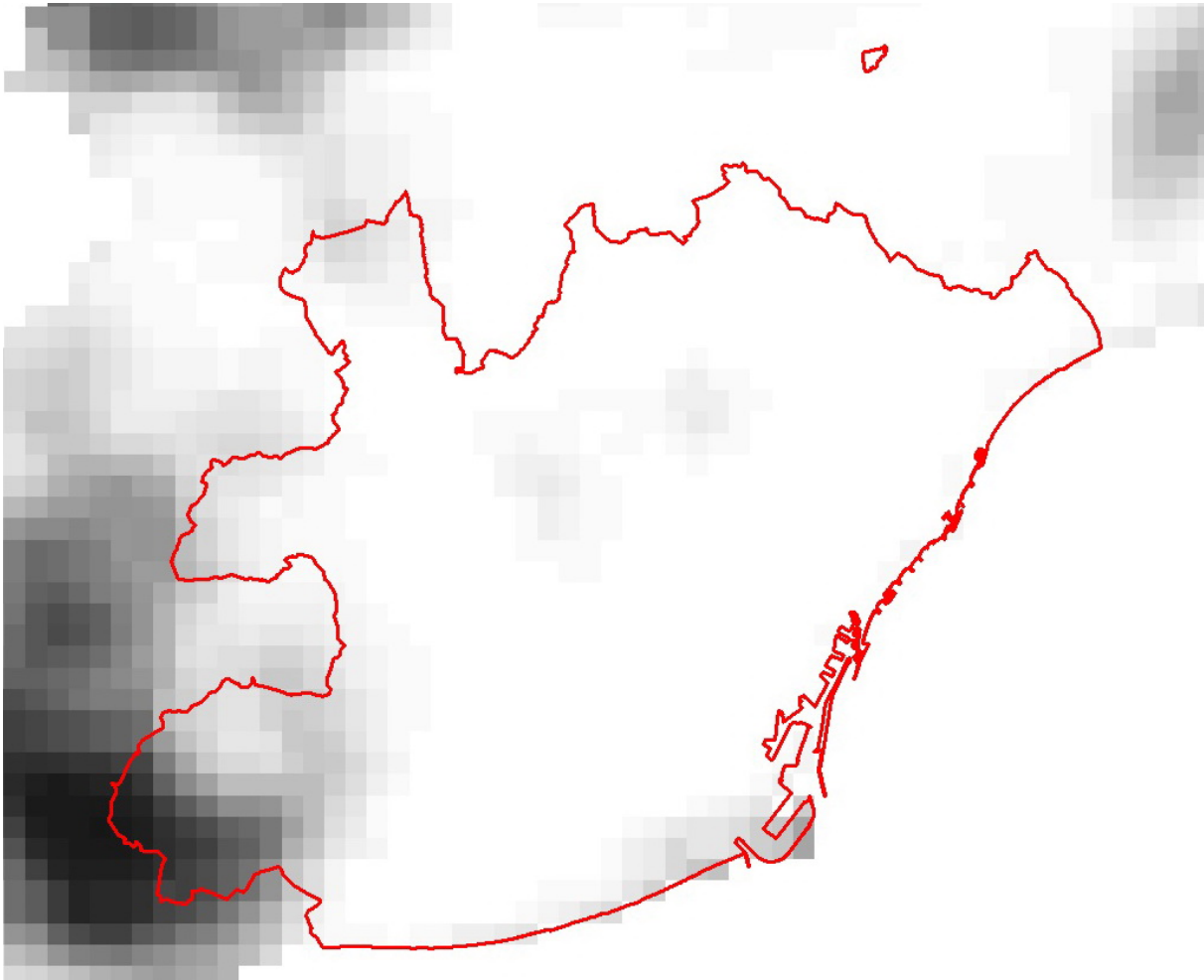
fent servir el factor de conversió $1,51586 \times 10^{-10}$. Tanmateix cal tenir en compte que les òptiques del sensor es degraden amb el temps i que no es pot verificar quan lluny estan els valors de les imatges d'aquesta calibració preoperacional.

Mapa 3. Mapa de radiància F16_2006 calibrat en l'àmbit metropolita de Barcelona



Font: NOAA

Les imatges que disposa la NOAA del OLS-DMSP donen informació del recompte de cobertures sense núvols d'on s'obté la informació, de la mitjana dels valors numèrics de la numeració digital de la banda visible sense filtres (Mapa 2), i també d'aquesta última informació tractada, traient el soroll de fons i els esdeveniments efímers, de manera que només es mostren les llums estables com les de ciutats i altres (Mapa 3).

Mapa 4. Mapa de radiància de llums estables F18_2010 en l'àmbit metropolità de Barcelona

Font: NOAA

La NOAA també ofereix imatges de radiància procedents del satèl·lit VIIRS, amb dades recollides amb nits sense presència de núvols a l'abril i l'octubre de 2012.

El mapa de radiància d'aquest satèl·lit corresponent a la AMB es mostra en el Mapa 4. Cal considerar que aquest mapa no ha estat filtrat per treure deteccions de llum associades a focs, deflagracions de gas, volcans o aurores, i també que no s'ha tret el soroll de fons. Aquest satèl·lit té uns límits de detecció per sota del DMSP, ja que permet detectar formes de llum reflectides on les superfícies són molt clares (com per exemple muntanyes cobertes de neu o bé llits de llacs secs) que no es poden detectar amb el DMSP sense il·luminació lunar. Tot i això, la imatge és prou clara per definir elements territorials de la AMB.

Mapa 5. Mapa de radiància VIIRS_2012

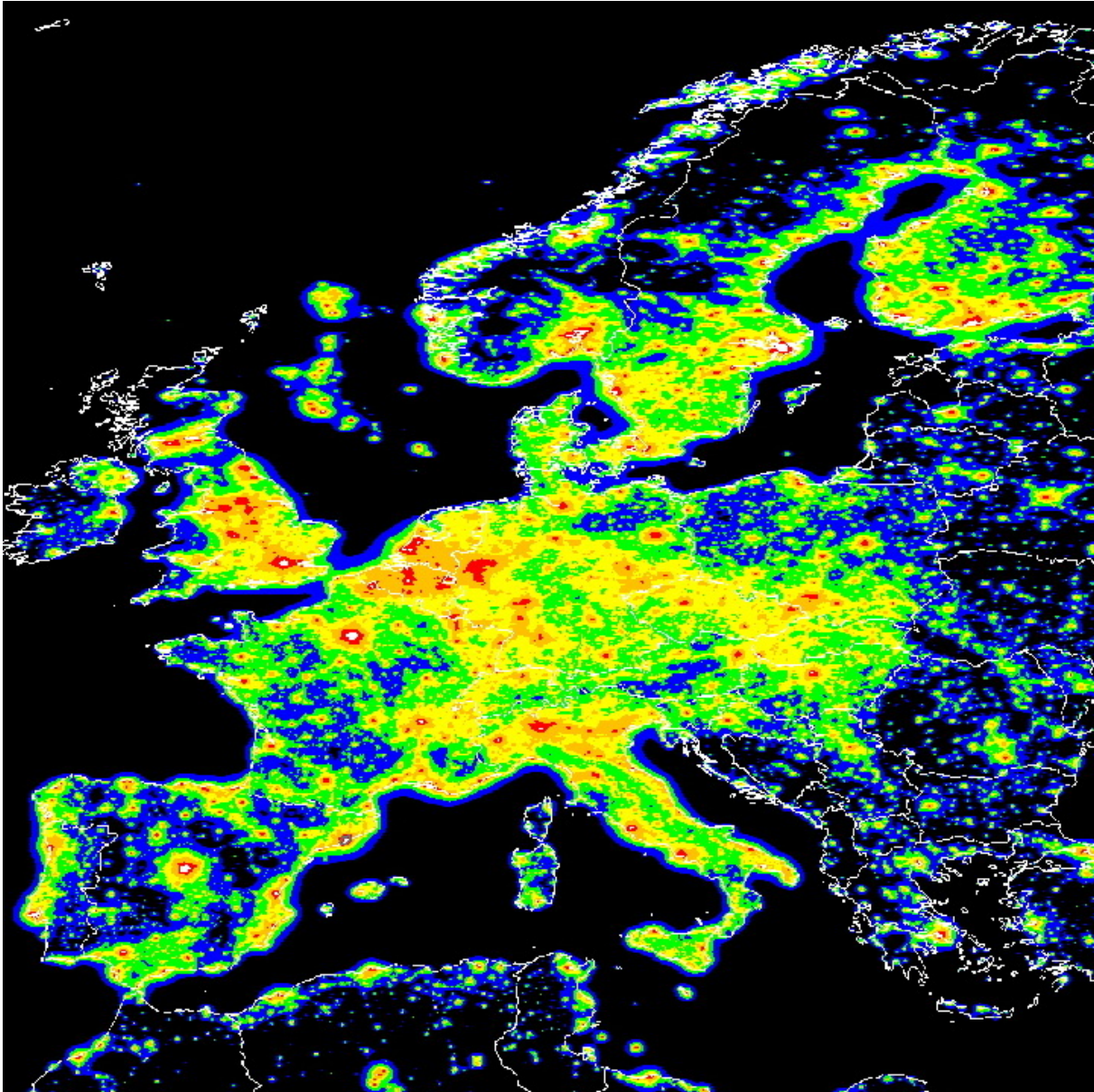
Font: NOAA

2.2.2. Luminositat artificial nocturna a nivell del mar

A partir dels mapes de radiància calibrats fets amb les dades del satèl·lit DMSP i una modelització acurada de la propagació de la llum a l'atmosfera es poden fer els mapes de lluminositat artificial nocturna, com el que es mostra en el Mapa 4 per Europa, en el Mapa 7 per Catalunya i en el Mapa 5 per l'àmbit metropolità de Barcelona.

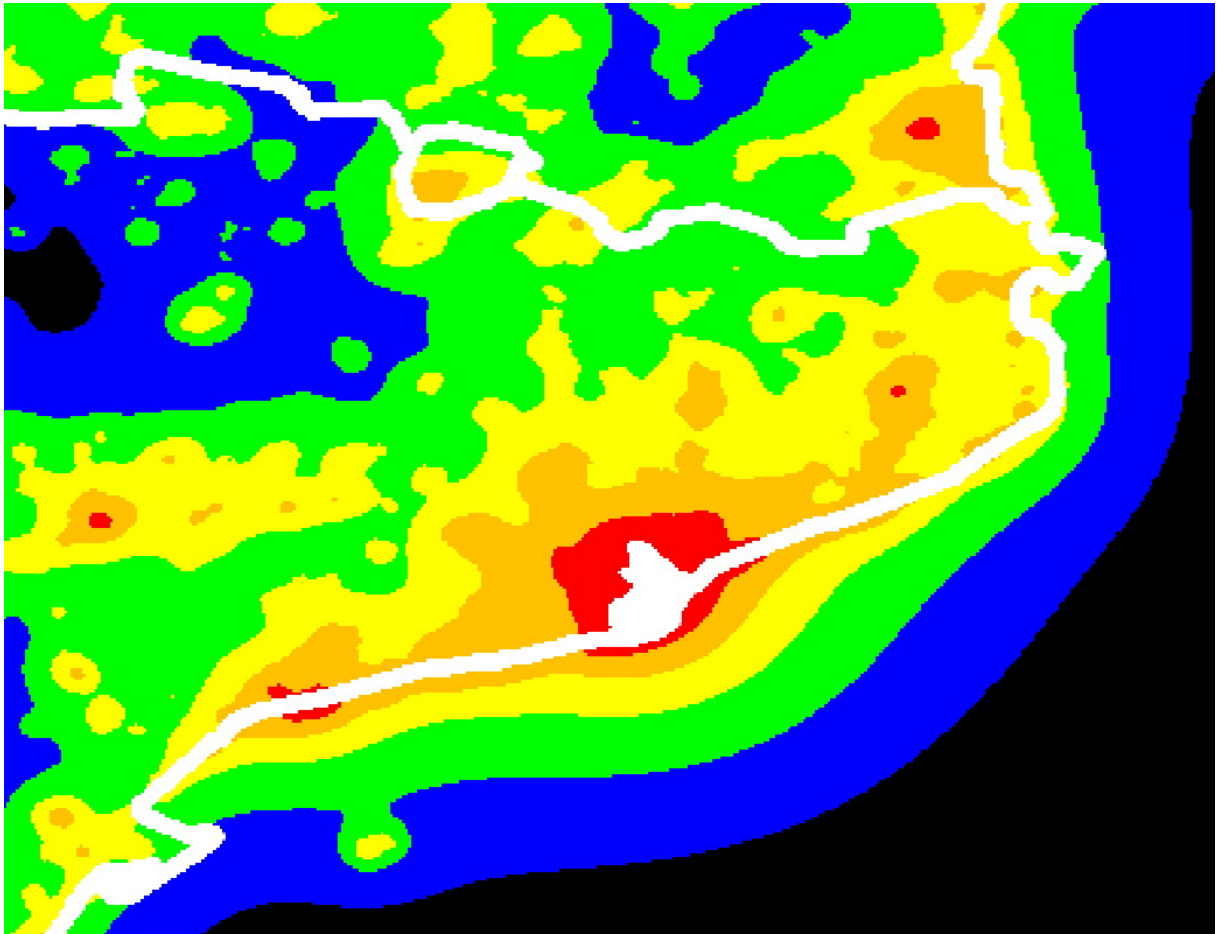
Són extractes de l'Atlas de lluminositat artificial nocturna elaborat per l'*Insittuto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso* d'Itàlia i consideren la lluminositat artificial nocturna al zenit al nivell del mar. Els mapes a nivell del mar, lliures dels efectes de l'elevació, són útils per comparar nivells de contaminació al llarg de territoris extensos, per reconèixer les àrees o ciutats més contaminades i per identificar zones fosques (Cinzano et al. 2000). Per tant, són un bon punt de partida per estudis globals de contaminació lluminosa en poblacions situades a baixa altitud.

Mapa 6. Lluminositat artificial nocturna Europa

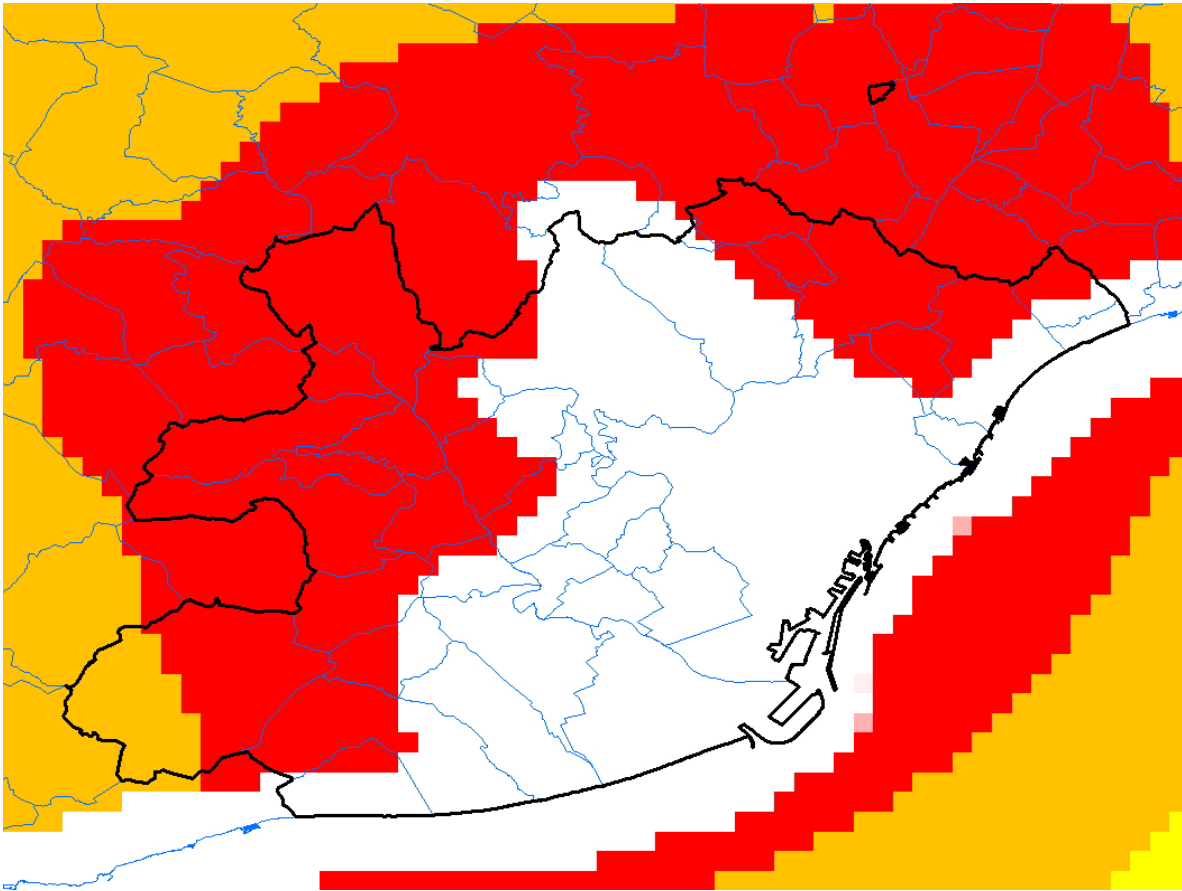


Font: Instituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso. *The World atlas of the artificial night sky brightness*. Considerar en la seva interpretació la resolució del mapa i que els països estan delimitats en blanc de manera aproximada.

Mapa 7 Lluminositat artificial nocturna Catalunya



Font: Instituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso. *The World atlas of the artificial night sky brightness*. Considerar en la seva interpretació la resolució del mapa i que els països estan delimitats en blanc de manera aproximada.

Mapa 8. Lluminescència artificial nocturna AMB

Font: Instituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso. *The World atlas of the artificial night sky brightness*. Considerar en la seva interpretació la resolució del mapa i que els països estan delimitats en blanc de manera aproximada.

Per modelitzar la distribució espacial de la contaminació lluminosa es podria plantejar fer-ho a partir de la densitat de població, però l'aparent relació no funciona en baixar d'escala per diversos motius. Per una banda, per la propagació atmosfèrica, també pel fet de que la llum emesa en direcció al cel no és proporcional a la població (ja que depèn de les tècniques d'il·luminació), també pel fet que hi ha fonts que no depenen de la població (com polígons industrials) i perquè que els censos de població no estan fets igual a tot arreu.

Per això per modelitzar la distribució espacial de la contaminació lluminosa s'utilitzen els mapes de radiància de la part alta de l'atmosfera (explicats en el punt anterior) així com el mapa de radiància global calibrat de fonts de llum artificial produït més recentment (Elvidge et al. 1999, 2001).

Es fan mapes globals a partir de composicions considerant només les observacions sense núvols dels mapes de radiància de l'OLS, i es calibren les dades preoperacionals del sensor de l'OLS amb mesures basades en la Terra (Cinzano et al., 2000).

A partir d'aquí es modelitza la propagació de la contaminació lluminosa.

Els resultats de la modelització considerant un coeficient de claredat de l'aerosol $K=1$ (mesura del contingut d'aerosols a l'atmosfera) es mostren en els mapes del *World Atlas of the Sea Level Artificial Night Sky Brightness*, que corresponen a les següents categories:

Taula 8. Llengüed dels mapes de *The World atlas of the artificial night sky brightness*. Brillantor mitjana de l'atmosfera $b_n = 252 \mu\text{cd}/\text{m}^2$, ratio = 1

	Lluminositat artificial nocturna del cel ($\mu\text{cd}/\text{m}^2$)	Ratio entre lluminositat artificial nocturna del cel i lluminositat natural del cel*
Blau	27,7-83,2	0,11-0,33
Verd	83,2-252	0,33-1
Groc	252-756	1-3
Taronja	756-2.268	3-9
Vermell	2.268-6.804	9-27
Blanc	> 6.804	> 27
Gris fosc		> 1%

* 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)

Es considera contaminació lluminosa (b_p) a partir de 10% de la brillantor mitjana de l'atmosfera (b_n), o sigui tot el que està marcat en colors blau-blanc als mapes (Smith, 1979).

Les estadístiques mostrades en *The first world atlas of the artificial night sky brightness* (Cinzano et al, 2001) detallen els percentatges de població i superfície sotmesos a cada nivell de contaminació lluminosa de l'Atlas, entre d'altres paràmetres.

Taula 9. Percentatges de població sotmesos a diversos nivells de contaminació lluminosa

	Món	Europa	Espanya
$\geq 0.11 b_n$ blau	62	99	98
$\geq 0.33 b_n$ verd	53	97	93
$\geq b_n$ groc	43	90	87
$\geq 3 b_n$ taronja	30	72	78
$\geq 9 b_n$ vermell	16	38	57
$\geq 27 b_n$ blanc	6	8	25
$\geq b_p$ nivell que es considera contaminació lluminosa	63	99	99
$\geq b_{rq}$ lluminositat mesurada en el primer quart de la lluna en els millors llocs astronòmics	52	96	93
$\geq b_m$ lluminositat en el primer quart de la lluna a 15° d'elevació i sense contaminació lluminosa	43	90	87
$\geq b_{fm}$ lluminositat mesurada en nits prop de lluna plena en els millors llocs astronòmics	28	68	76
$\geq b_{mw}$ visibilitat de la Via Làctea per la majoria de gent	21	51	67

$\geq b_e$ visió del cel a ull nu 9 17 38

Font: The first world atlas of the artificial night sky brightness (Cinzano et al, 2001)

Taula 10. Valors numèrics i referències dels nivells de la Taula 3. La brillantor natural del cel s'ha extret

b_p	b_{iq}	b_m	b_{fm}	b_{mw}	b_e
10 per cent b_n Smith 1979	$\sim 90 \mu\text{cd m}^{-2}$ e.g. Walker 1987	$252 \mu\text{cd m}^2$ based on Krisciunas & Schaefer 1991	$\sim 890 \mu\text{cd m}^2$ e.g. Walker 1987	$6 b_n$ estimate	$4452 \mu\text{cd m}^2$ Garstang 1986

Font: The first world atlas of the artificial night sky brightness (Cinzano et al, 2001)

Taula 11. Percentatges de superfícies sotmeses a diferents nivells de contaminació lluminosa

	Món	Europa	Espanya	AMB
$\geq 0.11 b_n$ blau	18,7	85,3	83,3	100
$\geq 0.33 b_n$ verd	10,9	64,8	50,4	100
$\geq b_n$ groc	5,3	36,7	23	100
$\geq 3 b_n$ taronja	1,8	11,5	7,3	100
$\geq 9 b_n$ vermell	0,4	1,7	1,4	96,6
$\geq 27 b_n$ blanc	0,1	0,1	0,2	55,1

Font (Món, Europa, Espanya): The first world atlas of the artificial night sky brightness (Cinzano et al, 2001). Font (AMB): càlcul propi a partir de les imatges de World Atlas.

El mateix estudi mostra com entre el 1996-1997 i 1998-1999 hi va haver un increment de contaminació lluminosa a Europa però que no es pot considerar significatiu perquè està entre el grau d'incertesa del mètode. A nivell global, considerant que l'Atlas cobreix un àmbit territorial on viu el 98% de la població, sí que es pot dir que entre 1996-1997 i el 1998 hi ha hagut un increment.

La visió general del *World Atlas* mostra com la contaminació lluminosa no és un problema associat a països desenvolupats, és un problema global. Molta població en diferents països té la seva visió del cel nocturn severament degradada. Més del 99% de la població d'EUA i UE, i sobre uns 2/3 de la població mundial viu en àrees on el cel nocturn està per sobre del llindar de status de contaminació. Més de 2/3 de la població d'Europa, i sobre uns 1/4 de la població mundial viu en àrees amb més brillantor nocturna que la mesurada en els millors llocs astronòmics en nits properes a la lluna plena.

Moltes àrees que en imatges de satèl·lit nocturnes semblen no contaminades perquè estan completament fosques es mostren amb nivells de brillantor nocturna artificial no negligibles per efecte de la propagació de la contaminació lluminosa.

La referència temporal de l'Atlas és de 1996-97, la situació avui en dia pot ser encara més severa, però caldria valorar també l'increment de conscienciació global i els esforços realitzats en millora d'eficiència energètica.

Segons el World Atlas, pràcticament tota la AMB estaria sotmesa a uns nivells de contaminació lluminosa artificial de l'ordre de 9 vegades per sobre de la contaminació lluminosa natural (categories blanca i vermella). Es calcula que un 57% de la població d'Espanya, un 38% de la d'Europa i un 16% de la mundial es troben per sobre d'aquests nivells.

2.2.3. Lluminositat nocturna total

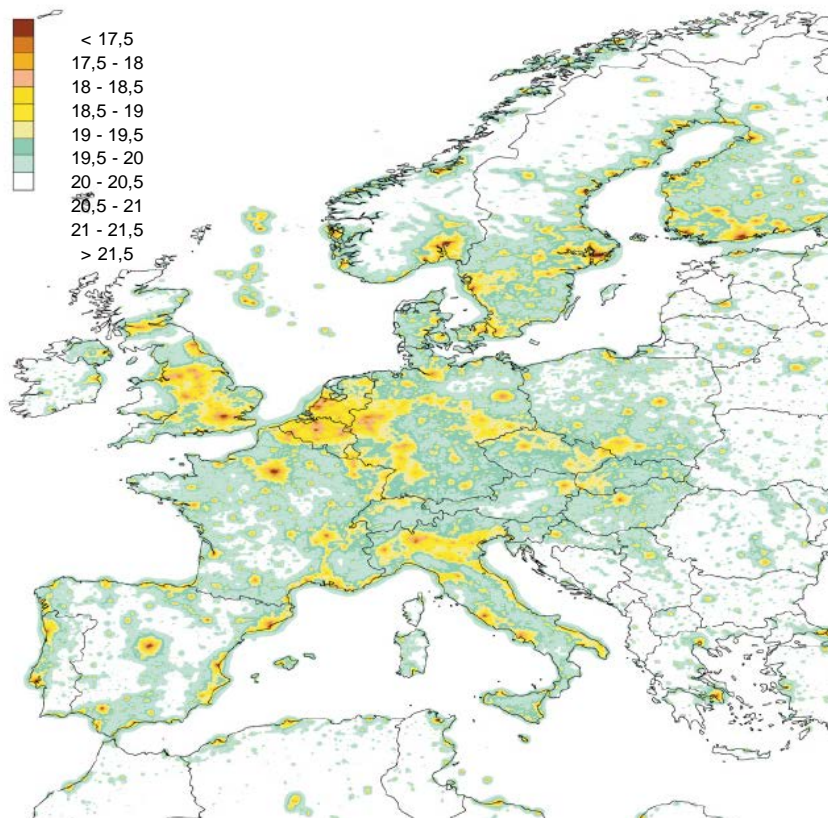
Els mapes de lluminositat nocturna total mostren la qualitat del cel nocturn.

Cinzano et al (2000) han elaborat un mapa de lluminositat nocturna computat al zenit per Europa a partir de la modelització de la lluminositat artificial i natural. Aquest mapa considera l'efecte de l'elevació.

L'elevació té efecte en la lluminositat natural, la lluminositat artificial i la pèrdua de visibilitat d'estrelles, i s'obté a partir de models digitals d'elevació. La lluminositat nocturna natural es produeix per la llum incident de l'univers i la luminescència atmosfèrica a 130 km per sobre de la superfície. Depèn de la posició geogràfica, l'activitat solar, l'hora de posta de sol i l'àrea observada.

Les àrees més fosques semblen més grans en aquests mapes que en els mapes de contaminació lluminosa artificial. És un efecte aparent per l'interval de nivells de colors (0.5 mag/arcsec^2) que no mostra quan la lluminositat artificial és una fracció de la natural.

Mapa 9. Lluminositat nocturna total a Europa ($V \text{ mag arcsec}^{-2}$)



Font: Cinzano et al, 2000

2.2.4. Visibilitat d'estrelles

Els mapes de visibilitat d'estrelles a ull nu no serveixen directament per avaluar la contaminació lluminosa, ja que en ells es confonen els efectes de l'elevació i l'extinció de la llum, però aporten informació sobre la quantitat de llum que hi ha entre un observador i el cel. Per ser bons indicadors de la contaminació lluminosa haurien de ser mapes de pèrdua de la visibilitat d'estrelles, considerant doncs quantes estrelles es veurien sense contaminació lluminosa només per la pròpia situació geogràfica, altitud, etc.

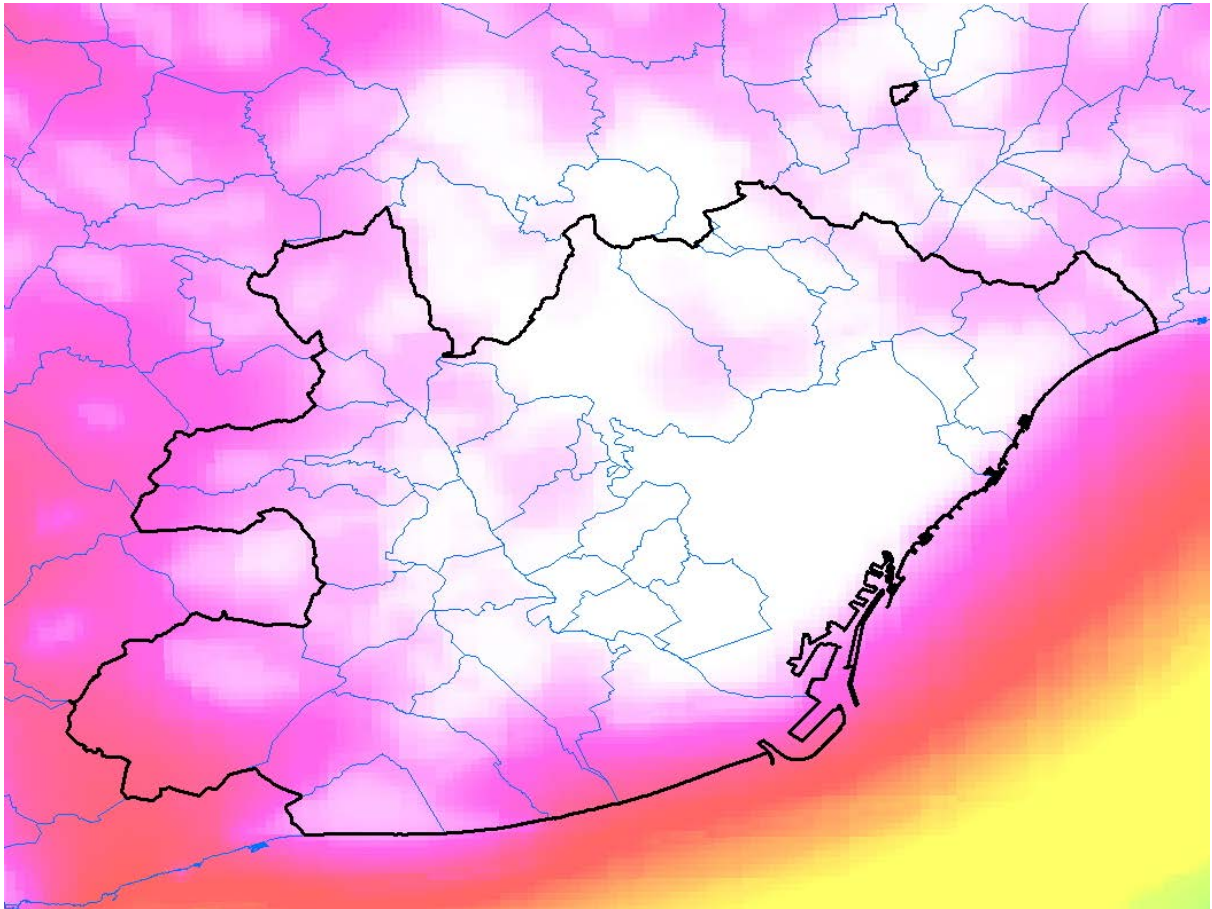
L'associació AVEX (*Association d'Astronomie du Vexin*) ha elaborat diversos mapes de visibilitat d'estrelles, entre ells els del propi país França i el de la Península Ibèrica.

En aquests es mostra en diferents colors el rang de nombre d'estrelles que es podrien veure en cada punt en un conus zenital de 50° en una nit d'hivern a les 23h amb un índex mitjà de 85% d'humitat sense incidència directa de llum.

En l'àmbit de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, la visibilitat d'estrelles segons el mapa realitzat per AVEX seria com es mostra en el Mapa 4. Bona part de la AMB es troba de color blanc, categoria més desfavorable típica de centres urbans que indica un nivell alt de contaminació lluminosa amb un rang d'estrelles visibles de 0-15 segons les condicions.

En magenta es mostren zones on es comença a reconèixer les principals constel·lacions, amb un rang de 25-80 estrelles visibles.

En vermell, amb un rang de 80-150 estrelles visibles, apareixen constel·lacions i algunes estrelles, amb telescopi es poden començar a observar galàxies i nebuloses. Com es pot veure, amb aquesta categoria dins l'AMB només hi hauria la zona més propera al Garraf i a la zona costanera propera a la reserva del Remolar del Delta del Llobregat.

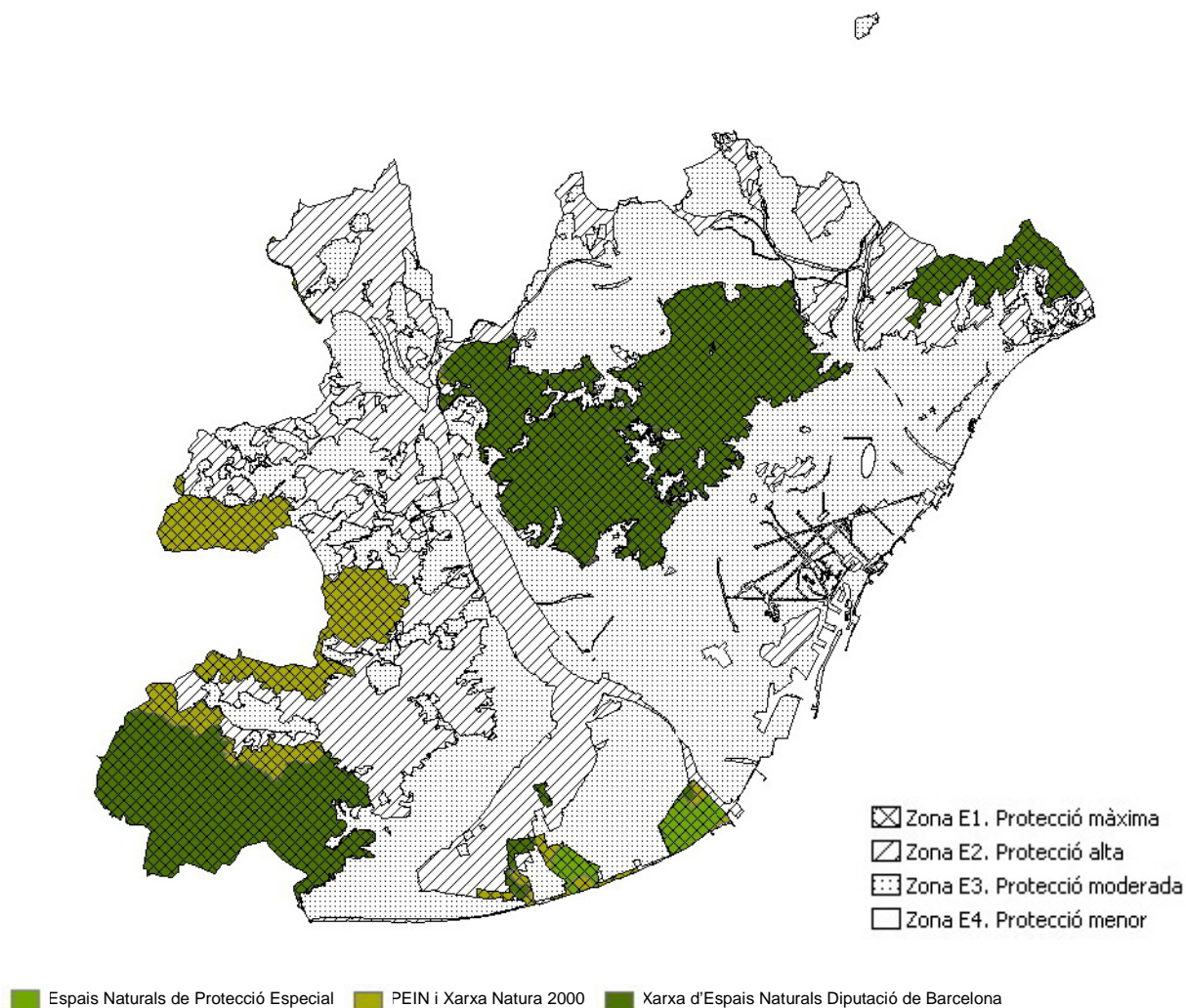
Mapa 10. Visibilitat d'estrelles

Font: AVEX

No s'han trobat mapes de pèrdua de visibilitat d'estrelles, que aportarien una bona mesura de la contaminació lluminosa. Cal considerar que el mapa de visibilitat d'estrelles és indicatiu.

3. ANÀLISI DEL MAPA DE PREVENCIÓ DE LA CONTAMINACIÓ LLUMINOSA DE CATALUNYA A L'AMB

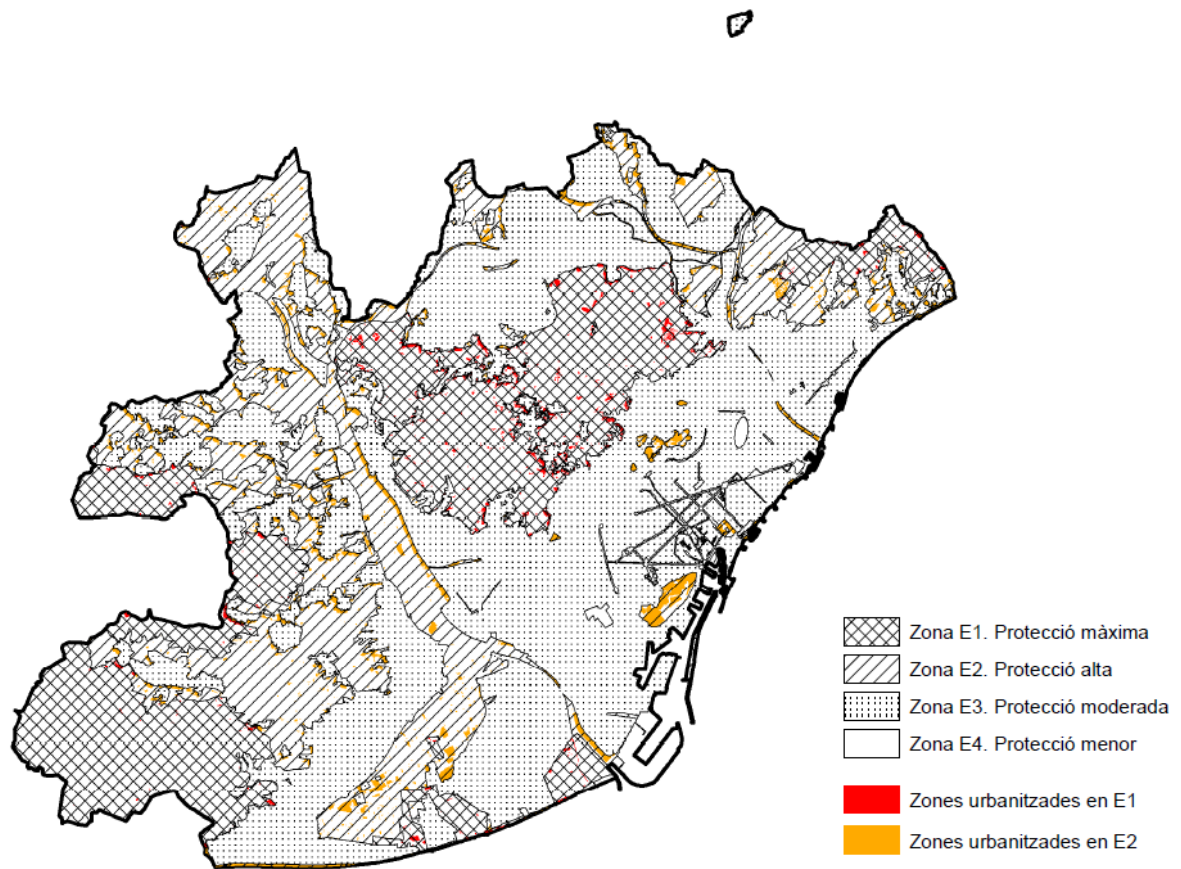
D'entre les categories del mapa de prevenció de la contaminació lluminosa, la categoria E1 mostra el major nivell de protecció envers la contaminació lluminosa. En ella s'inclouen els espais que tenen una protecció especial. Inclou tots els espais naturals de protecció especial del Pla Territorial Metropolità de Barcelona, els espais PEIN i Xarxa Natura 2000, els espais de Protecció Especial i els espais de la Xarxa de Parcs Naturals de la Diputació de Barcelona.

Mapa 11. Zona E1. Protecció màxima

Font: Elaboració pròpia

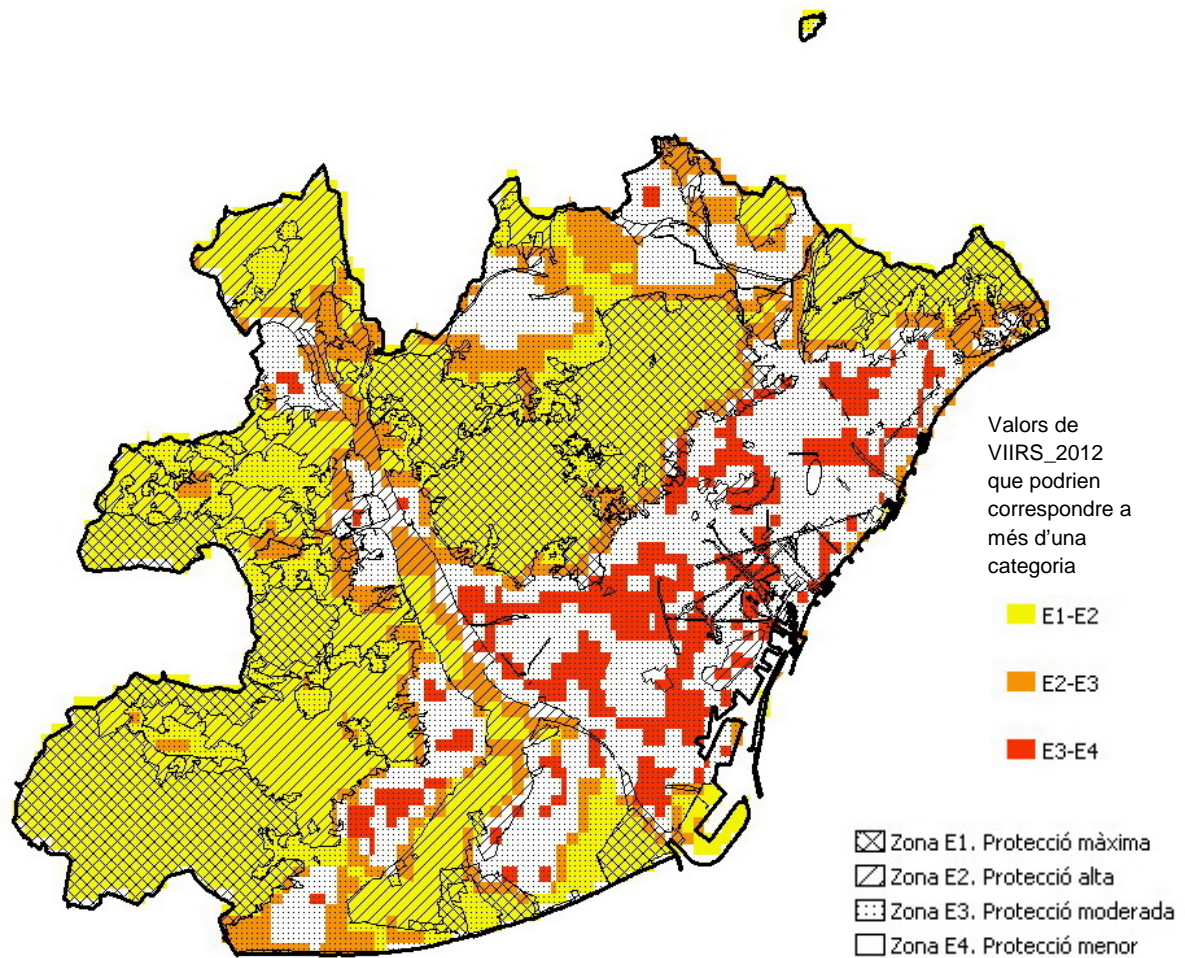
S'ha creuat el mapa de prevenció de la contaminació lluminosa amb les categories de zones urbanitzades del mapa de cobertes del sòl de Catalunya del 2009. En el Mapa 13 es mostren les friccions resultants, o sigui les zones urbanitzades que es troben en les categories de protecció màxima i protecció alta. S'han detectat 557 ha de zones urbanitzades en la categoria de protecció màxima, que representen un 3.4%, i 2010 ha en zones de protecció alta, que representen un 12.9% de la superfície classificada en aquesta categoria. En les categories E3 i E4, les zones urbanitzades són un 64% i 92% de les respectives categories¹⁷.

¹⁷ Quan es parla de zones urbanitzades són les classificades com a tal en el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya de 2009. Les infraestructures corresponen a una altra categoria. Considerant les dues categories estariem parlant d'un percentatge major en E3 i de la pràctica totalitat de E4..

Mapa 12. Zones urbanitzades en E1 i E2

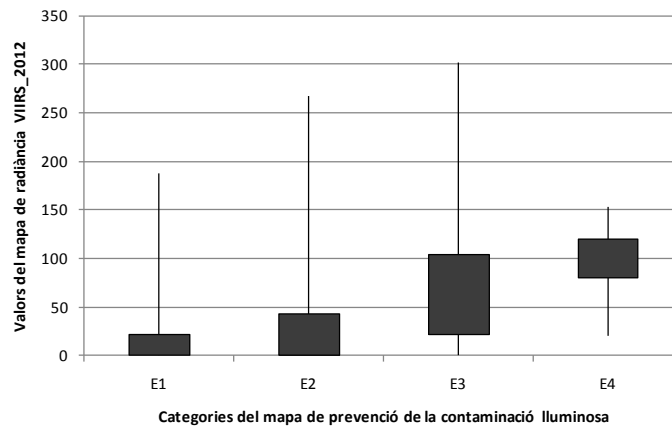
Font: Elaboració pròpia

Finalment, s'ha creuat el mapa de radiància de VIIRS_2012 amb el mapa de prevenció de la contaminació lluminosa. Cal considerar com s'ha dit abans que aquest mapa, malgrat ser el més actualitzat i el que major detall mostra no està calibrat ni mostra únicament les fonts de llum estables com serien les ciutats. Tot i així, es poden fer alguns anàlisis amb els valors que dona.

Mapa 13. Friccions VIIRS_2012 – Mapa de prevenció de la contaminació lluminosa

Font: Elaboració pròpia

Considerant la mitjana i la desviació típica de tots els valors del VIIRS_2012 que es troben en cada categoria del mapa de prevenció de la contaminació lluminosa es pot veure com hi ha alguns valors que podrien correspondre a més d'una categoria del mapa de prevenció. Així, el Mapa 9 detecta les friccions entre valors i categories i mostra en diferents colors les zones que, pel valors que tenen del VIIRS_2012 podrien estar en dues categories del mapa de prevenció. Cal considerar que la categoria E2 té un rang de valors molt gran, que inclou pràcticament tot el rang de valors de E1 (per això es troba en groc pràcticament tot el E1) i part del rang de valors de E3.

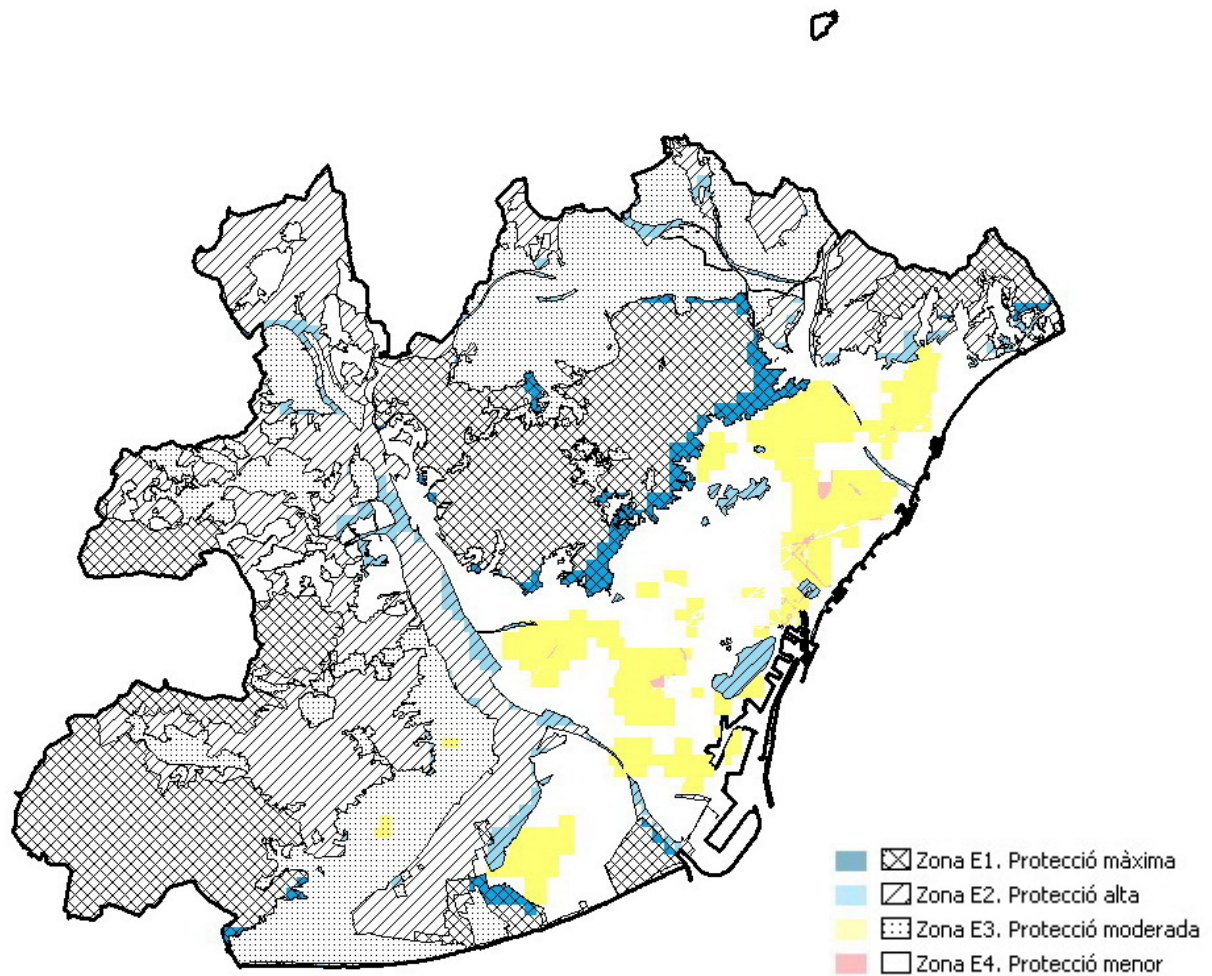
Gràfica 10. Correlació entre les categories del mapa de prevenció de la contaminació Iluminosa de Catalunya i el mapa de radiància del VIIRS_2012*

* Les línies representen el rang de valors. Les franges representen la desviació típica

Font: Elaboració pròpia

Per altra banda, també es pot mostrar els punts on els valors del VIIRS_2012 estan fora de la desviació típica dels valors corresponents a la categoria del mapa de protecció on es troben Mapa 10. En aquest cas, es mostra com les friccions en les categories E1 i E2 es troben majoritàriament a les vores dels polígons de protecció, en la franja de contacte entre una i altra categoria. Es mostren, per exemple, els entorns de Collserola, serralada marina o el Garraf, o del Parc Agrari del Baix Llobregat. Les friccions en la categoria E3 mostren valors elevats a la plana de Barcelona, però cal considerar que aquesta és la categoria que té una desviació típica més àmplia, pràcticament el doble de les desviacions típiques de E2 i E4 i quatre vegades més que la de E1.

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.



Font: Elaboració pròpia

4. CONCLUSIONS

Hi ha diverses maneres d'estudiar i valorar la contaminació lluminosa d'un territori. En aquest treball s'ha fet una aproximació a la contaminació lluminosa de l'AMB des de dues perspectives. D'una banda, s'ha analitzat la informació disponible en relació a l'enllumenat públic dels municipis, la principal font de contaminació lluminosa. De l'altra, s'ha recollit la informació, imatges i mapes indicatius sobre la contaminació lluminosa en aquest àmbit. Finalment, s'ha analitzat el mapa de prevenció de la contaminació lluminosa de Catalunya en l'àmbit de la AMB.

Altres aspectes que no s'han tractat en aquest treball però que caldria abordar per una estudi més acurat sobre la contaminació lluminosa serien altres fonts de llum més enllà de l'enllumenat públic com per exemple les infraestructures, i impactes sobre la fauna i el medi que travessen, així com altres aspectes com la contaminació atmosfèrica que afecten a la dispersió de la llum.

De la informació analitzada es desprèn que malgrat que la majoria de municipis metropolitans disposen de PAES, la informació en relació a l'enllumenat és diversa, no és homogènia i no està actualitzada.

El principal treball realitzat en els municipis metropolitans en favor de la reducció de la contaminació lluminosa s'ha fet, fonamentalment, a través de la substitució de les làmpades per models més eficients, i ha estat motivat per una voluntat d'incrementar l'eficiència energètica i de reduir la despesa municipal en enllumenat.

Els principals sectors de consum d'energia dels ajuntaments metropolitans són l'enllumenat i els equipaments, seguits pel transport i flotes municipals. Cal considerar, especialment en el sector del transport, que a banda del que es pot imputar directament per part de cada ajuntament és l'Àrea Metropolitana de Barcelona a través de l'ATM la responsable del transport públic en aquest àmbit.

Hi ha diferències en el consum energètic per habitant corresponent a l'enllumenat públic i en el nombre de punts de llum per habitant entre diferents municipis de l'AMB. El factor del tipus de teixit i la densitat de població explica en bona part aquestes diferències.

Només hi ha tres municipis metropolitans que disposen d'informació específica indicativa sobre l'efecte de l'enllumenat públic respecte a la contaminació lluminosa.

Es disposa de diferents imatges nocturnes i d'alguns mapes que, malgrat la resolució i les limitacions en comparabilitat i translació de resultats a l'àmbit AMB, aporten informació indicativa sobre la contaminació lluminosa en l'àmbit metropolità.

Amb els mapes analitzats es denota com l'AMB, igual com la resta d'àrees metropolitanes té uns nivells de contaminació lluminosa importants.

El mapa de prevenció de la contaminació lluminosa de Catalunya classifica la meitat de la superfície de l'AMB sota la categoria E3 de protecció moderada, després a parts iguals com a E1 i E2 corresponents a protecció màxima i alta, i només una part molt minoritària com a zona E4 amb protecció menor.

La categoria de protecció màxima recull les diferents figures de protecció dels espais naturals en aquest àmbit. Un 3% de la superfície recollida sota aquesta categoria correspon a zones urbanitzades. En la categoria E2 de protecció alta, pràcticament un 13% de la superfície està urbanitzada.

El creuament del mapa de prevenció de la contaminació lluminosa amb una de les imatges de satèl·lit obtingudes de la NOAA permet observar com alguna de les categories del mapa de prevenció inclouen un ampli rang de valors dels que obté el sensor del satèl·lit.

Es detecten friccions en les franges de contacte entre els espais protegits i les zones urbanes tant en l'anàlisi de zones urbanitzades com amb el mapa de radiància.

5. PROPOSTES

(en redacció i pendent de revisió)

En aquest sentit, una de les possibles sortides a aquesta situació de limitació pressupostària municipal podria ser l'estudiar la participació d'empreses de serveis energètics.

Per tant, una primera conclusió seria la necessitat d'homogeneïtzar i actualitzar la informació dels municipis, per tal de poder fer una diagnosi més acurada de la situació real.