

1. Introducció

La vida de l'espècie humana està adaptada a les hores de llum natural des del principi de la història, de manera que es pugui dur a terme qualsevol tipus d'activitat. Com a conseqüència de la necessitat o les ganes d'ampliar la franja horària d'aquestes activitats, es va crear el que coneixem com a 'llum artificial', des del foc, els llums d'oli, els de gas, fins a arribar als diferents tipus de làmpades actuals, que funcionen amb l'electricitat, com ara les incandescents, les de vapor de mercuri, les de vapor de sodi, les fluorescents i els LED.

La tecnologia ha anat avançant amb els anys, per facilitar-nos la vida, i avui en dia avança molt de pressa. Moltes coses que han anat sorgint al llarg de la història i que han permès millorar la nostra qualitat de vida, com ara les indústries, les noves tecnologies..., amb el temps han portat lligades conseqüències que principalment han afectat el medi ambient.

La il·luminació també comporta conseqüències per al medi ambient i aquesta és la causa del que s'anomena 'contaminació lumínica' (CL). Aquest, però, no és un concepte nou; tot i que els últims anys s'ha incrementat l'interès per estudiar aquest tipus de contaminació, ja fa molt temps que es va començar a fer, quan els astrònoms es van trobar que no podien observar el cel amb claredat a causa del núvol de llum provocat per la il·luminació dels carrers de les ciutats. De fet, nosaltres mateixos ens podem adonar de la CL que produeix la nostra pròpia ciutat observant els núvols de llum que s'hi veuen a sobre, des dels afores, quan hi arribem de nit. La CL es produeix perquè la llum col·lideix amb les partícules que estan en suspensió a l'atmosfera; és per això que a l'hora d'estudiar-la no només s'han de tenir en compte els llums sinó també les condicions atmosfèriques, climatològiques i del terreny.

I ara què hem de fer? Reduir la il·luminació? Això suposaria que no podríem desenvolupar certes activitats de nit, o que tindríem por de passar per segons quins carrers perquè no ens hi veuríem, o que es registrarien accidents per mala visibilitat o enlluernament. No, no cal reduir la il·luminació, sinó fer-ne un bon disseny, de manera que s'aprofiti tota la llum que produeix una làmpada per il·luminar, ja que avui en dia hi ha molts sistemes d'enllumenat que malgasten la llum, perquè la dirigeixen cap a llocs innecessaris; cal dirigir tota la llum cap a terra. Aquest bon disseny també ha de permetre que l'enllumenat sigui més eficient energèticament, de manera que es fomenti l'estalvi energètic i econòmic.

Ara, en molts llocs la nit ja no existeix. La capacitat d'emissió lumínica de les instal·lacions actuals és molt superior a la que la natura pot suportar. La CL no només afecta la visibilitat del cel sinó també l'hàbitat de les espècies. Hi ha moltes espècies animals i vegetals que desenvolupen l'activitat durant la nit, com ara els insectes o bé algunes plantes que es preparen per a la pol·linització en l'obscuritat; són els cicles naturals de la vida que pateixen l'efecte de la CL. A les persones també ens afecta la CL; en aquest cas, parlem d'"intrusió lumínica": la llum que entra per la finestra perquè el fanal que tenim a sota no és correcte o bé no està orientat correctament.

2. Conceptes bàsics de luminotècnia

Per estudiar la contaminació lumínica, com també per caracteritzar noves làmpades que compleixin la normativa actual, és molt important conèixer les unitats utilitzades per mesurar la llum.

Possiblement, els conceptes bàsics més importants que cal conèixer són:

- El flux lluminós.
- La intensitat lluminosa.
- La il·luminació.
- La luminància.

El mesurament, el control i les aplicacions relatives a la llum són les àrees que estudia la luminotècnica. El mesurament, en l'àrea de la luminotècnica, té en compte la manera com l'ésser humà percep les radiacions lluminoses, és a dir, l'espectre de longituds d'ona a què l'ull humà és sensible, que és al voltant dels 555 nm.

2.1 Flux lluminós i intensitat lluminosa

El **flux lluminós** (*luminous flux*) indica tota la potència de llum que emet una font i que és percebuda per l'ull humà. El flux lluminós té en compte la potència radiada en totes direccions. La quantitat de flux lluminós es mesura en lúmens (lm) i el símbol utilitzat és Φ . Es defineix 1 lumen com el flux lluminós d'1/683 watts a una longitud d'ona de 555 nm.

La **intensitat lluminosa** (*luminous intensity*) indica la potència de llum que emet una font i que és percebuda per l'ull humà, però, en aquest cas, és emesa en una direcció determinada. La intensitat lluminosa es mesura en candelas (cd), que és una unitat bàsica del sistema internacional d'unitats (SI), i el símbol utilitzat és I .

La relació entre el flux lluminós, Φ , i la intensitat lluminosa, I , es determina per la direcció d'emissió. Així doncs, la intensitat lluminosa es defineix com el flux lluminós per unitat d'angle sòlid, Ω , com es mostra en l'expressió següent:

$$I = \Phi / \Omega.$$

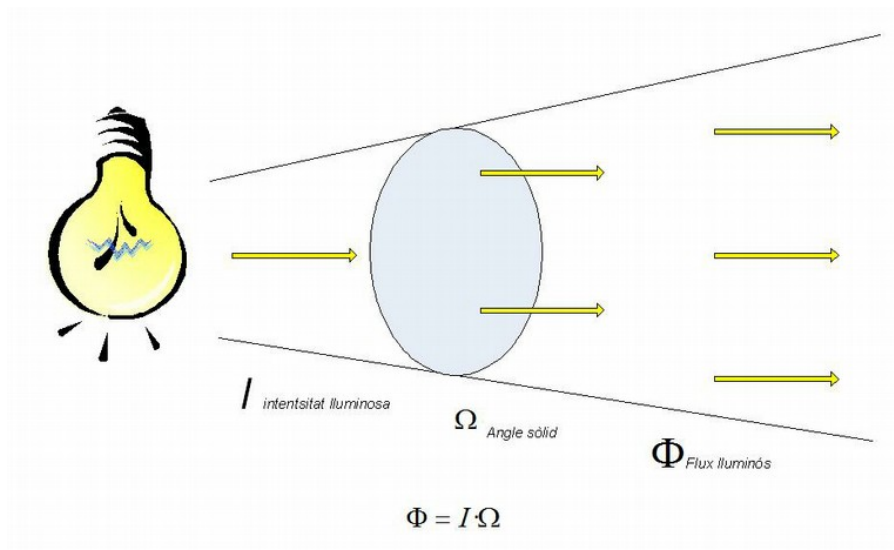


Figura 1.

L'angle sòlid, Ω , es mesura en estereoradiants (sr) i es calcula segons l'expressió $\Omega = S / R^2$, on S és la superfície d'una esfera de radi R .

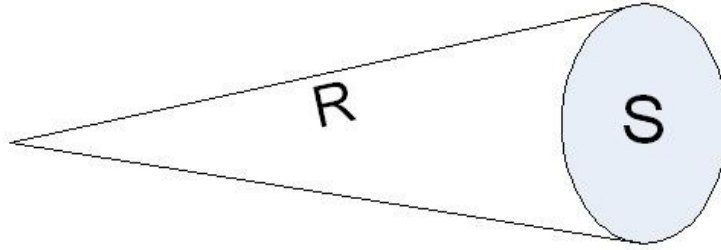


Figura 2.

Com a exemples per entendre millor les unitats descrites fins ara, podem demostrar que:

1. Una esfera de radi R té un angle sòlid de 4π estereoradiants, mitja esfera definiria un angle sòlid de 2π estereoradiants i un quart d'esfera definiria un angle sòlid de π estereoradiants.
2. Una font de llum al mig d'una esfera, que radia uniformement, emet una intensitat lluminosa d'1 candela en totes direccions i un flux lluminós d'1 cd · 4π sr = 12,6 lm.
3. Per a una font lluminosa que emet 1 cd d'intensitat lluminosa uniformement en un angle sòlid d'1 sr, el flux lluminós total radiat en aquest angle és d'1 lm.
4. Una font lluminosa d'1 cd d'intensitat lluminosa, que emet en totes direccions, emet 4π lm.

Per fer-nos una idea de la quantitat de llum que representa 1 lm, fem una ullada a la taula següent, en què es mostra el flux lluminós per a diferents bombetes incandescent de potències diferents i la millora de l'eficiència energètica que suposa utilitzar bombetes de baix consum:

Flux lluminós de bombetes incandescent segons [1]

15 watts: 122 lúmens, 8,1 lm/W
25 watts: 210 lúmens, 8,4 lm/W
40 watts: 460 lúmens, 11,5 lm/W
60 watts: 890 lúmens, 14,8 lm/W
75 watts: 1.180 lúmens, 15,7 lm/W
100 watts: 1.750 lúmens, 17,5 lm/W

Flux lluminós de bombetes de baix consum:

15 watts: 1.000 lúmens, 67 lm/W
26 watts: 1.450 lúmens, 55 lm/W

Flux lluminós de làmpada de vapor de sodi:

100 watts: 15.000 lúmens, 150 lm/W

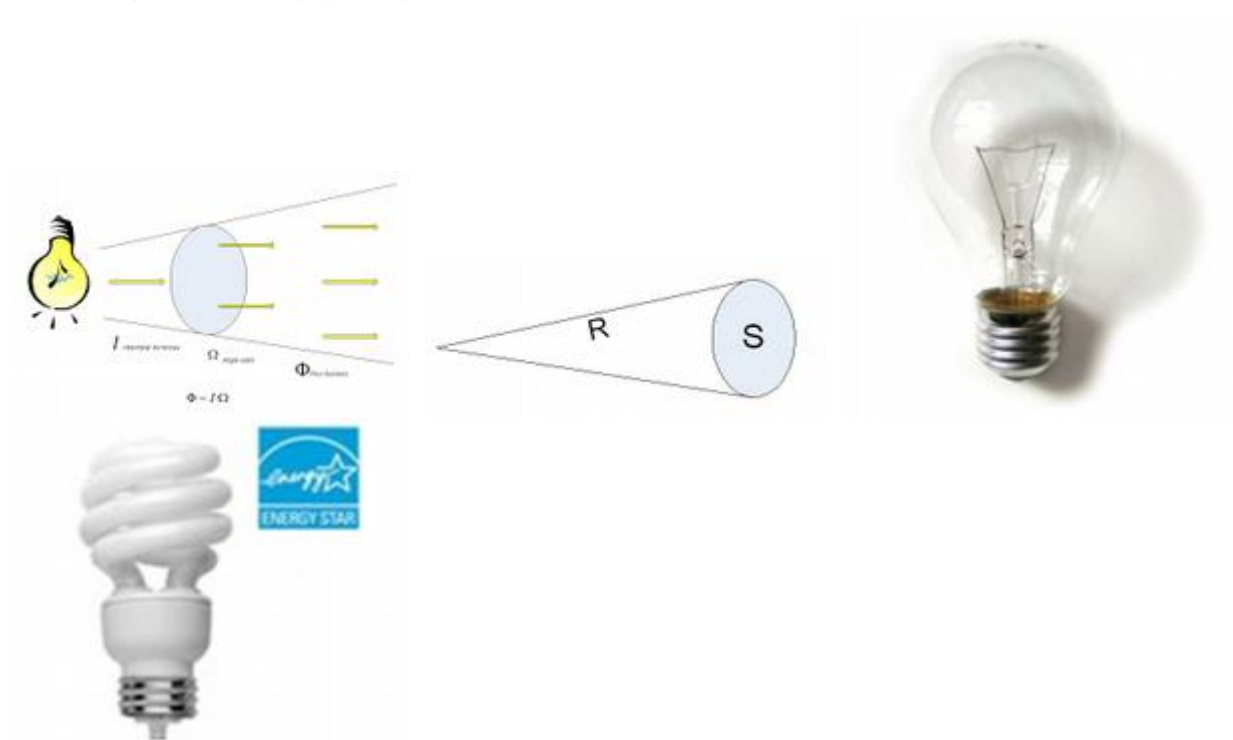


Figura 3.



Figura 4.

Els paràmetres de flux lluminós i intensitat lluminosa són característiques de les fonts de llum, i per caracteritzar-los se segueixen procediments estàndards de mesurament que els fabricants apliquen als productes utilitzant un instrumental molt sofisticat.



2.2 Il·luminació i luminància

La característica que ens permet mesurar la il·luminació d'un determinat recinte és la **il·luminació**, que es defineix com el flux lluminós per unitat de superfície. El paràmetre il·luminació també rep el nom de **nivell d'il·luminació**, i el símbol utilitzat és E : $E = \Phi / S$.

La unitat del sistema internacional que defineix la il·luminació o nivell d'il·luminació és el lux (lx), definit com el nombre de lúmens per metre quadrat: $lx = lm / m^2$.

La diferència entre lux (il·luminació) i lúmens (flux lluminós) és que els luxs tenen en compte l'àrea en la qual incideix el flux lluminós. Per exemple, un flux lluminós de 1.000 lúmens concentrat en una àrea d'1 metre quadrat genera una il·luminació de 1.000 luxs. D'altra banda, si el mateix flux lluminós de 1.000 lúmens incideix en una àrea de 10 metres quadrats, produeix una il·luminació de 100 luxs.

Per fer-nos una idea de la il·luminació en diferents situacions, fem una ullada a la taula següent:

Taula 1. Exemples de valors d'il·luminació.

Il·luminació	Condicions de mesura
0,002 luxs	Nit clara sense lluna
0,01 luxs	Amb lluna en quart creixent
0,27 luxs	Amb lluna plena
1 lux	Lluna plena als tròpics
50 luxs	Menjador d'una casa
80 luxs	Rebedor o lavabo
320-500 luxs	Oficina
1.000 luxs	Estudi de TV
32.000-130.000 luxs	Exposició directa als rajos solars

Per aconseguir una il·luminació de 400 luxs en una habitació, cal utilitzar una làmpada de 12.000 lúmens, però, per il·luminar amb la mateixa quantitat de llum una nau industrial amb una superfície molt superior, caldran moltes més làmpades, que proporcionaran una quantitat suficient de lúmens.

El mesurament de la il·luminació es duu a terme mitjançant instruments portàtils, com ara els luxímetres, per exemple, el que es presenta a la figura següent.



Figura 5. Luxímetre

Expressem en luxs, per exemple, els nivells d'il·luminació mitjana màxima per a les diferents zones destinades al trànsit de vehicles i/o al pas de vianants, tal com mostra la taula següent:

Taula 2. Il·luminació mitjana màxima en zones destinades al trànsit de vehicles i/o al pas de vianants.

	Il·luminació en zones de vehicles	Il·luminació en zones de vianants
Trànsit elevat	35 lx	20 lx
Trànsit moderat	25 lx	10 lx
Trànsit baix	15 lx	6 lx
Trànsit escàs	10 lx	5 lx

La luminància (L) es defineix com la relació entre la intensitat lluminosa (I) d'una font de llum i la seva superfície, tenint també en compte la direcció de la projecció. Les unitats són el nit (del llatí 'nittere', 'brillar'), que equival a candeles per metre quadrat: $L[nits] = I[cd]/S[m^2]$.

El paràmetre de la luminància és el que col·loquialment definim com a 'brillantor d'una pantalla o una imatge'.

Per fer-nos una idea dels valors aproximats de luminància, vegem la taula següent:

Taula 3. Exemples de valors de luminància.

Luminància (nits)	Font lluminosa
120.000	Làmpada d'incandescència de 60 W
11.000	Fluorescent
400	Pantalla plana

Les normatives sobre contaminació lumínica inclouen límits de luminància pel que fa a la luminància màxima del rètols, façanes o monuments en funció de la ubicació en diferents zones de protecció, tal com descriu la taula següent:

Taula 4. Luminància màxima de rètols expressada en $cd \cdot m^{-2}$.

Zona de protecció	Luminància màxima ($cd \cdot m^{-2}$)
E1	50
E2	400
E3	800
E4	1.000



Il·luminació	Condicions de mesura
0.002 luxs	Nit clara sense lluna
0.01 luxs	Amb lluna en quart creixent
0.27 luxs	Amb lluna plena
1 lux	Lluna plena als tròpics
50 luxs	Menjador d'una casa
80 luxs	Rebedor o lavabo
320-500 luxs	Oficina
1.000 luxs	Estudi de TV
32.000-130.000 luxs	Exposició directa als rajos solars

Zona de protecció	Luminància màxima (cd · m ⁻²)
E1	50
E2	400
E3	800
E4	1.000

Luminància (nits)	Font il·luminosa
120.000	Làmpada d'incandescència de 60 W
11.000	Fluorescent
400	Pantalla plana

	Il·luminació en zones de vehicles	Il·luminació en zones de vianants
Trànsit elevat	25 lx	20 lx
Trànsit moderat	25 lx	10 lx
Trànsit baix	15 lx	6 lx
Trànsit escàs	10 lx	5 lx

3. Normativa

Com s'ha comentat anteriorment, la clau per reduir la CL és fer un bon disseny de l'enllumenat. Per això, els últims anys s'ha anat creant normativa referent a aquest tema que s'ha de tenir en compte a l'hora de fer nous projectes d'urbanització i també cal aplicar-la en tot l'enllumenat que ja està en funcionament i dur-hi a terme tots els canvis que siguin necessaris.

La Llei 6/2001 i el Decret 82/2005 posen en evidència la necessitat d'ordenar i controlar la situació ambiental pel que fa a la CL i a l'ús eficient de l'energia lluminosa als municipis catalans.

Les finalitats de la Llei 6/2001 són:

- 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 que minvi la seguretat.
- Evitar la intrusió lumínica en l'entorn domèstic o, si no pot ser, minimitzar-ne les molèsties i els perjudicis.
- Prevenir i corregir els efectes de la CL en la visió del cel.

El grau de coneixement i control d'aquesta situació en cada municipi és molt variat i els recursos disponibles per fer front a aquesta nova responsabilitat depenen en gran mesura de la capacitat de cada consistori.

La Generalitat de Catalunya impulsa a través de les diputacions i els consells comarcals les activitats que s'han de dur a terme als ajuntaments per arribar a conèixer l'estat actual dels municipis i elaborar un pla d'actuacions per complir la reglamentació en els terminis establerts.

La normativa especifica diferents factors que cal tenir en compte en referència tant a la il·luminació pública com a la privada. Aquests factors són els següents:

- Tipus de làmpades.
- Percentatge màxim del flux a l'hemisferi superior instal·lat d'un pàmpol d'un llum.
- Enlluernament pertorbador màxim en la il·luminació exterior viària, expressat en percentatge.
- Índex màxim d'enlluernament en els enllumenats per a vianants.
- Il·luminació intrusa màxima en superfícies verticals, expressada en luxs.
- Il·luminació mitjana màxima en zones destinades a trànsit de vehicles i/o al pas de vianants, expressada en luxs.
- Intensitat lluminosa màxima emesa en direcció a àrees protegides (E1), expressada en quilocandelas (Kcd).
- Luminància màxima de rètols, expressada en $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$.
- Luminància màxima d'edificis, d'aparadors i de finestres, expressada en $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$.
- Luminància mitjana màxima de façanes i monuments, expressada en $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$.

Els valors de tots aquests factors varien en funció d'unes zones de protecció del territori definides prèviament. Les zones es defineixen, segons el grau de protecció que necessiten i de més a menys, com a E1, E2, E3 i E4.

E1: zones de màxima protecció respecte de la CL; corresponen a les àrees coincidents amb els espais d'interès natural, les àrees de protecció especial i les àrees coincidents amb la Xarxa Natura 2000.

E2: zones corresponents a sòl no urbanitzable fora d'un espai d'interès natural o d'una àrea de protecció especial o d'una Xarxa Natura 2000.

E3: àrees que el planejament urbanístic qualifica com a sòl urbà o urbanitzable.

E4: àrees en sòl urbà d'ús intensiu a la nit, destinades a activitats comercials, industrials o de serveis, i també vials urbans principals. Les determina l'ajuntament de cada municipi, el qual ha de notificar la proposta de zonificació al Departament de Medi Ambient i Habitatge, que l'ha d'aprovar. No poden classificar-se zones E4 a menys de 2 km d'una zona E1.

En aquest capítol, però, no estudiarem tots aquests punts, sinó que farem referència als que ens permeten reduir la CL d'una manera senzilla.

4. Com es pot reduir la contaminació lumínica

Amb l'objectiu de reduir la CL, hem de tenir en compte els aspectes següents:

Cal il·luminar de dalt a baix, amb làmpades de baix consum i que no utilitzin ni mercuri ni metalls pesats; cal emprar les potències adequades per no enlluernar ni crear zones amb ombres massa fosques; cal apantallar i orientar bé els focus per evitar llençar llum al cel;[3] cal utilitzar el tipus de làmpada més adequat segons l'ús; cal apagar els llums quan no siguin necessaris; cal restringir l'ús de canons làser.[4]

4.1. Il·luminar correctament

Cal il·luminar sempre de dalt a baix. Si això no és possible, cal orientar els focus per evitar que enviïn llum per sobre l'objecte o l'edifici que es vol il·luminar.[3] Per aconseguir-ho, cal utilitzar els llums adequats. L'element principal dels llums és el pàmpol, que és el dispositiu format per elements opacs o translúcids, de formes distintes (campana, fanal, globus, piramidal, etc.).

Figura 6.

Figura 7.

Els tipus de pàmpols que més contaminen són els globus totalment oberts i que durant tants anys hem vist en moltes ciutats. Aquests globus emeten el mateix flux lluminós en totes direccions, de manera que malgasten gran part de la llum; per això es recomana que s'utilitzin globus amb l'hemisferi superior opac i amb reflector.

Figura 8.

Figura 9.

A l'hora d'escollir el tipus de pàmpol, cal tenir en compte el valor del flux de l'hemisferi superior (FHS). La normativa catalana recull en una taula els percentatges màxims en funció de la zona de protecció.

Taula 5. Percentatges màxims de FHS instal·lat d'un pàmpol d'un llum.[2]

Zona de protecció	Horari de vespre	Horari de nit
E1	1	1
E2	5	1
E3	15	15
E4	25	25

Per tenir una guia de quins valors d'FHS es consideren tolerables en funció del tipus de llum i via, l'Oficina Tècnica per a la Protecció de la Qualitat del Cel (OTPCC) de l'Institut d'Astrofísica de Canàries proposa els valors següents:[4]

Enllumenat d'ús viari	% FHS ≤ 0,2
Enllumenat d'ús viari	% FHS ≤ 1,5
Enllumenat d'ús en zones de vianants	% FHS ≤ 2

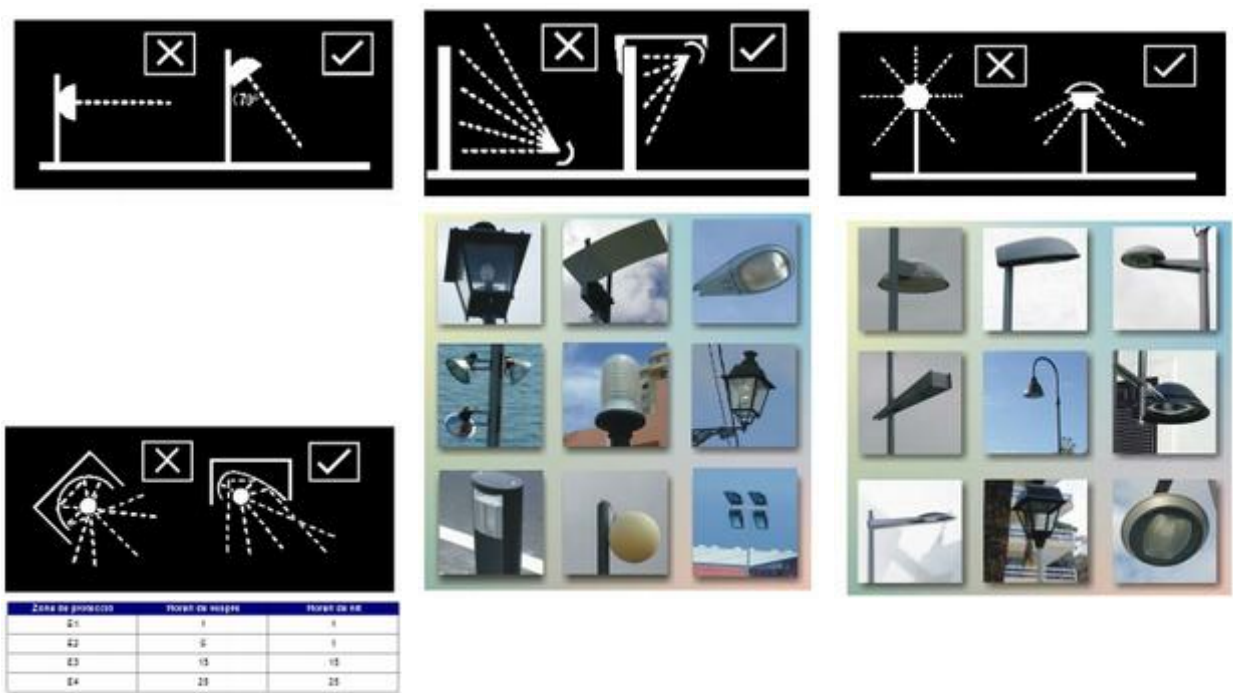
També cal apantallar tots els llums; per fer-ho, disposem de tres tipus de pantalles:[4]

- o Asimètrica: incrementa el 25 % el nivell d'il·luminació.
- o Reflectora: aprofita tota la llum.
- o Protectora: envia la llum 20 graus per sota de la línia l'horitzontal.

Per tant, és important instal·lar els llums sense inclinació, amb vidre de tancament pla, amb una bona pantalla, totalment reflectora, que no s'embruti ni s'alteri i que impedeixi la visió directa de la bombeta perquè no enlluerni.[4]

Figura 10. Llums contaminants.[6]

Figura 11. Llums no contaminants.[6]



4.2. Tipus de làmpada

Hi ha diferents tipus de làmpades: de vapor de mercuri, de vapor de sodi d'alta pressió, de vapor de sodi de baixa pressió, d'halogenurs metàl·lics, incandescents, incandescents halògenes i fluorescents.

Diferenciem un tipus de làmpada d'un altre pel color de llum que fan. Les de vapor de mercuri es caracteritzen per una llum blanca, mentre que les de vapor de sodi es caracteritzen per una llum d'un color groc o taronja. És aquest color ataronjat el que fa que la gent tingui la sensació que les làmpades de vapor de sodi il·luminen menys que les de vapor de mercuri, però això no és així: les làmpades de vapor de sodi ens permeten, amb menys consum, tenir el mateix nivell d'il·luminació que les de vapor de mercuri.

Les làmpades de vapor de mercuri i les d'halogenurs metàl·lics són les més contaminants i les menys eficients, mentre que les de vapor de sodi són les menys contaminants i alhora les més eficients. Per això, la normativa recomana que s'utilitzin làmpades de vapor de sodi, tal com s'observa a la taula següent.

Taula 6. Tipus de làmpades segons l'indret en què estan situades.[2]

VSBP: vapor de sodi de baixa pressió. VSAP: vapor de sodi d'alta pressió.

Les làmpades d'halogenurs metàl·lics, tot i que són tan contaminants com les de vapor de mercuri, consumeixen menys que les de vapor de sodi; és per això que en algun cas concret i ben justificat es permetria utilitzar-les, tot i que no és recomanable.

Avui en dia s'està incrementant també a l'enllumenat públic l'ús dels LED.

Zona de gestió	Horari de vegada	Horari de nit
E1	USBPV5AP	USBPV5AP
E2	Preferiment USBPV5AP	USBPV5AP
E3	Preferiment USBPV5AP	Preferiment USBPV5AP
E4	Preferiment USBPV5AP	Preferiment USBPV5AP

4.3. Apagar els llums quan no siguin necessaris

Tot i que sembla molt lògic apagar els llums quan no es necessiten —una pràctica que pot ser habitual a casa amb l'objectiu de reduir la despesa—, en l'enllumenat públic algunes vegades no es fa, de manera que veiem llums encesos quan encara és de dia o bé llums encesos durant tota la nit quan no són necessaris; per exemple, els llums que il·luminen monuments, cartells publicitaris o bé rètols de comerços.

Per ajustar l'encesa i l'apagada disposem de diferents sistemes:[5]

- **Cèl·lules fotoelèctriques:** generen les ordres d'encesa i d'apagada segons la lluminositat ambiental.
- **Relotges astronòmics:** generen les ordres de maniobra d'encesa i d'apagada a unes hores predeterminades.
- **Sistemes de regulació del flux lluminós:** si en els períodes de baixa exigència reduïm el nivell d'il·luminació al que és necessari per a les noves condicions, obtindrem un estalvi energètic, ja que la potència necessària serà inferior.

Tipus:

- **Apagada parcial:** es tracta de disminuir el nivell d'il·luminació desconnectant alguns punts de llum.
- **Equips auxiliars de doble règim:** permeten que la làmpada treballi en condicions per sota de les nominals per mitjà d'una doble inductància, condensadors addicionals, relés de comandament, etc.
- **Reguladors-estabilitzadors a la capçalera:** són equips que permeten regular la tensió de tota la línia de subministrament de l'enllumenat.

5. Estudi de l'enllumenat

El Decret 82/2005, de 3 de maig, pel qual s'aprova el Reglament de desenvolupament de la Llei 6/2001, de 31 de maig, d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn, va entrar en vigor el 6 de maig de 2005. A partir d'aquesta data, tots els nous projectes urbanístics que es van posar en marxa ja havien de complir-lo. És fàcil desenvolupar un nou projecte tenint en compte tot el que marca la Llei, però tot l'enllumenat que hi havia fins a l'entrada en vigor de la normativa també s'havia d'adaptar i per aquest motiu els ajuntaments van haver d'encarregar estudis sobre la CL al seu municipi per desenvolupar un pla d'adequació.

En la disposició transitòria segona del Decret s'informa que els ajuntaments han de comunicar el Pla municipal d'adequació de la il·luminació exterior que hi havia abans del 31 de desembre del 2007, i en la disposició transitòria tercera s'informa que l'enllumenat exterior ha de complir tant la Llei com el Decret no més enllà del 31 d'agost de 2009.

Avui hi ha molts municipis que encara no han pogut adequar tot l'enllumenat a la normativa, ja que la inversió és elevada, tot i que el Departament de Medi Ambient i Habitatge va convocar ajuts per tirar endavant els plans d'adequació.

L'objectiu a l'hora de fer un estudi de l'enllumenat és comprovar si compleix la normativa per prevenir la contaminació lumínica. Els passos que cal seguir són:

- Recollida d'informació, estudi de camp.
- Anàlisi i valoració de la informació.
- Propostes de millora.

Si l'objectiu de l'estudi fos, a més a més, determinar el nivell de contaminació lumínica, aleshores caldria fer un treball de camp més exhaustiu, però en aquest capítol no hi entrarem.

NOM DE CONNEIXIÓ	LLUMS ACTUALS	LLUMS PROPOSATS
7837	02 Globus sòcals (imatge 1): amb tensió de vapor de sodi de 150 W	Globus de la casa Canadins, model DGR500AL (imatge 2): 52 litres de tensió de sodi de vapor per una tensió de vapor de sodi de 100 W

5.1. Recollida d'informació

Primer de tot, cal recopilar tota la informació necessària, que ha de facilitar l'ajuntament o bé l'empresa subministradora en el cas en què la gestió de l'enllumenat estigui subcontractada.

- Plànol del municipi: les divisions territorials del municipi (barris, urbanitzacions...), que permetrà organitzar l'estudi posterior.
- Plànol de zonificació del municipi desenvolupat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- Informació de l'enllumenat: hi ha municipis que recullen la informació de l'enllumenat en plànols i taules, cosa que facilita molt l'estudi; cal assegurar, però, que la informació està actualitzada. Si el municipi no té aquesta informació recollida enlloc, cal començar de zero i fer un estudi de camp.
Per recopilar la informació, cal determinar, d'una banda, les connexions de servei actuals i a quins llums donen servei i, de l'altra, la tipologia dels llums, el tipus de pàmpol, l'FHS, el tipus de làmpada, la potència de la làmpada, el suport i la quantitat de làmpades.
- Definició de les zones: cal definir la tipologia de cada zona que es vol estudiar, l'estructura urbanística, els equipaments, el subministrament elèctric i la zonificació.

5.2. Anàlisi i valoració de la informació

Una manera fàcil d'analitzar la informació és plasmar-la en taules. D'aquesta manera, elaborem una primera taula amb totes les connexions de servei del municipi i informació addicional, i una segona taula amb tota la informació referent als llums. A continuació se'n pot veure un exemple.

Taula de connexions de servei:

Zona	Núm. de connexió	Ubicació	Sistema d'encesa	Regulador de flux	Referència del plànol
NUCLI URBÀ	ES0031405769036001CJOF	Font del Vidal, s/n	RELOTGE ASTRONÒMIC	DN	Plànol 6 vila, color verd
...	...	...	...	...	...

És important tenir la informació ben organitzada; per això s'indica la zona, el número de connexió i la ubicació, i en aquest exemple, a més a més, es relaciona amb el plànol, cosa que ens permet visualitzar què estem estudiant. De cada connexió s'avalua el sistema d'encesa, si en té o no en té, i si en té, de quin tipus és. Si porta regulador de flux, també s'analitza què farà perquè durant certes hores de la nit disminueixi el nivell d'il·luminació, quan no és necessària una il·luminació del 100 %.

Taula de llums:

Zona	ET	Tipus de làmpada	Potència de la làmpada	Tipus de llum	% d'FHS	Tipus de suport	Quantitat	Comentaris
FONT	6234	VS	100	CARANDINI STR 154 CC	0,7	COLUMNA	76	CORRECTE
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Quan ja tenim la llista de totes les connexions instal·lades, aleshores establim la relació de tots els llums que depenen de cadascuna per valorar si són correctes o no.

Valorem, doncs:

- El tipus de làmpada. Considerem correctes les làmpades de vapor de sodi.
- Potència de la làmpada. Amb làmpades de vapor de sodi no cal superar els 125 W per obtenir un bon nivell d'il·luminació. Amb una làmpada de vapor de sodi es pot aconseguir el mateix nivell d'il·luminació que una làmpada de vapor de mercuri d'alta pressió, i amb la meitat de potència. Per això a vegades hi ha làmpades de vapor de sodi amb una potència de 250 W quan amb una de 125 W n'hi hauria prou, perquè s'ha canviat un tipus de làmpada per un altre però s'ha deixat la mateixa potència.
- L'FHS. En la majoria de casos sabem l'FHS que emet una làmpada perquè l'industrial ens la proporciona; en aquest cas, cal comparar-lo amb la taula de la normativa per determinar si és correcte o no.
- El tipus de suport. Cal recollir també aquesta informació perquè moltes vegades els llums estan situats a unes alçades innecessàries, cosa que malgasta molta llum. Per valorar, però, l'alçada correcta ja ens endinsaríem en la necessitat de desenvolupar un projecte nou d'enllumenat

Zona	Núm. de connexió	Ubicació	Sistema d'encesa	Regulador de flux	Referència del plànol
NUCLI URBÀ	ES0031405769036001CJOF	Font del Vidal, s/n	RELOTGE ASTRONÒMIC	DN	Plànol 6 vila, color verd

Zona	ET	Tipus de làmpada	Potència de la làmpada	Tipus de llum	% d'FHS	Tipus de suport	Quantitat	Comentaris
FONT	6234	VS	100	CARANDINI STR 154 CC	0,7	COLUMNA	76	CORRECTE

5.3. Propostes de millora

Un cop fetes les valoracions de l'apartat anterior, elaborem propostes de millora per als casos en què sigui convenient.

D'aquesta manera, canviem totes les làmpades de vapor de mercuri per làmpades de vapor de sodi i en reduïm, també, la potència a la meitat.

En els casos que l'FHS no compleix la normativa, cal comprovar si es disposa d'alguna mena d'apantallament, perquè potser només afegint-hi qualsevol dels tres tipus de pantalla ja reduiríem aquest valor. Si això no és possible, cal buscar un pàmpol nou. A l'hora d'escollir el pàmpol, no només hem de tenir en compte que compleixi la normativa, sinó també que sigui adequat per a la funció que ha de fer i la zona on s'ha d'instal·lar.

Exemple:

6. Valoració energètica

Quan es presenta un pla d'adequació, tots els canvis que s'hi proposen porten associats uns costos; cal, doncs, justificar aquesta despesa i la manera de fer-ho és demostrar l'estalvi energètic i, per tant, econòmic que aportaran els canvis proposats.

Per desenvolupar aquesta part, cal recollir les factures de totes les connexions del municipi, d'on s'ha d'extreure la informació següent:

- Potència instal·lada a les làmpades.
- Potència contractada.
- Consum.
- Generació d'energia reactiva.
- Cost.

L'Institut Català d'Energia (ICAEN) va elaborar uns indicadors d'eficiència energètica que permeten valorar l'estat energètic dels quadres d'enllumenat i planificar propostes de millora.

Els indicadors utilitzats en aquest cas són:

$$I_1 = \text{CONSUM}/\text{PTI}$$

$$I_2 = \text{PC}/\text{PTI}$$

$$I_3 = P_{\text{consumida}}/\text{PIL}$$

$$I_1 = \text{CONSUM}/\text{PTI}$$

Aquest índex relaciona el consum anual (kWh) i la potència total instal·lada (PTI). El valor obtingut representa les hores que teòricament està en funcionament la instal·lació. Segons l'ICAEN, aquest valor ha d'oscil·lar entre 4.200 i 4.300 hores en instal·lacions a ple funcionament, i entre 2.900 i 3.200 hores en el cas de mitja apagada o regulació de flux.

Un valor superior a aquests indica un funcionament excessiu de les instal·lacions i un valor inferior n'indica un baix funcionament.

La potència total instal·lada és la potència de les làmpades més la dels equips auxiliars. Si no se sap la potència instal·lada dels equips auxiliars, es considera que és un 15 % més de la potència total instal·lada a les làmpades.

$$I_2 = \text{PC}/\text{PTI}$$

Aquest índex relaciona la potència contractada per a cada quadre i la potència total instal·lada. Segons l'ICAEN, els valors obtinguts han d'oscil·lar entre 1,2 i 1,6.

Un valor superior a aquests indica que no s'està utilitzant tota la potència contractada i un d'inferior indica que cal revisar la instal·lació perquè pot provocar problemes de seguretat.

$$I_3 = P_{\text{consumida}}/\text{PIL}$$

Aquest índex relaciona la potència teòricament consumida, segons les hores de funcionament, amb la potència instal·lada a les làmpades. Segons l'ICAEN, els valors obtinguts han d'oscil·lar entre 1,1 i 1,2.

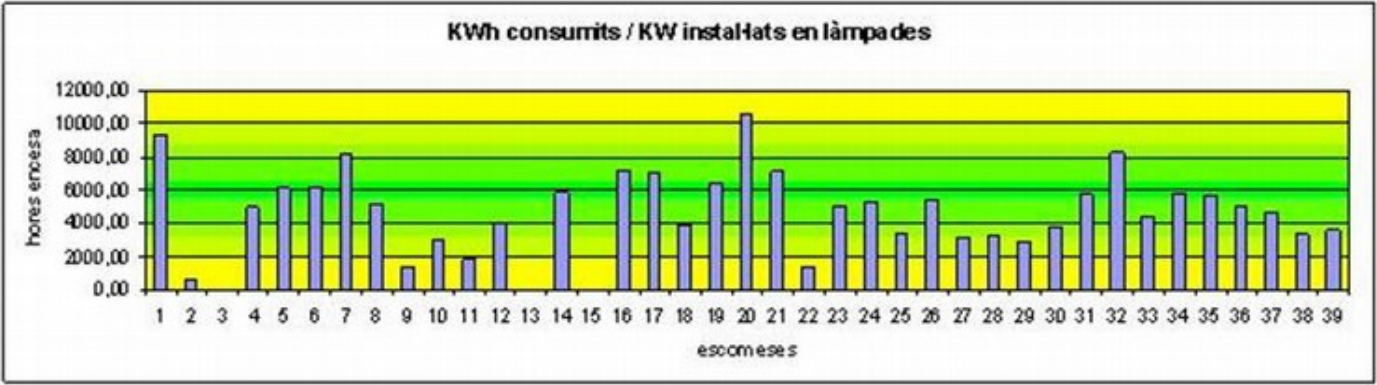
Un valor superior a aquests indica que es produeixen pèrdues que poden ser degudes als equips auxiliars, a les línies o a la manca d'aïllament. Un valor inferior indica deficiències en els equips auxiliars, cosa que es tradueix en reduccions del flux lluminós.

El càlcul d'aquests índexs abans i després d'haver introduït les modificacions necessàries en l'enllumenat permet determinar el valor de l'estalvi energètic i, per tant, econòmic.

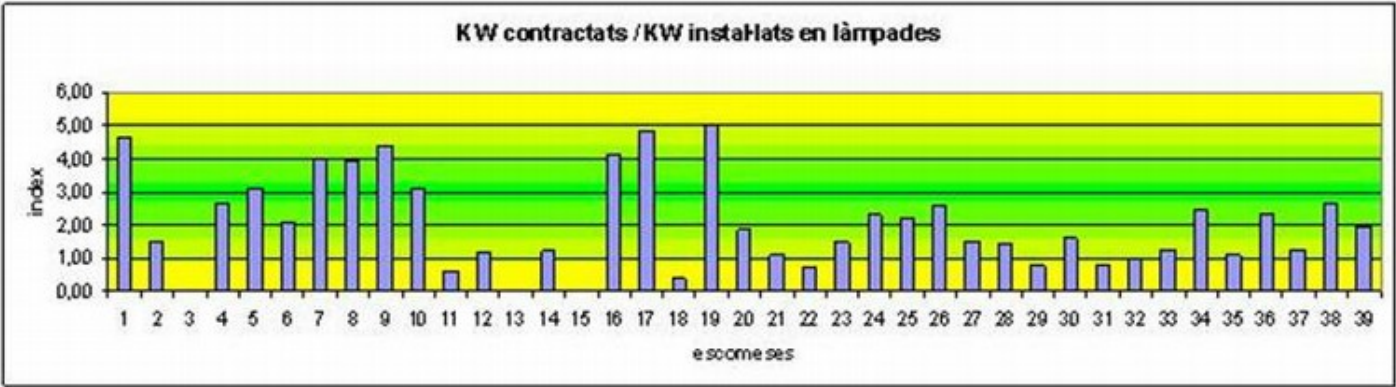
7. Activitats

- A1. En grups de dues o tres persones, es dóna a cada grup un mapa d'una zona del municipi perquè en faci l'estudi de l'enllumenat.
- A2. Observa les imatges següents i valora els índexs energètics I_1 , I_2 i I_3 .

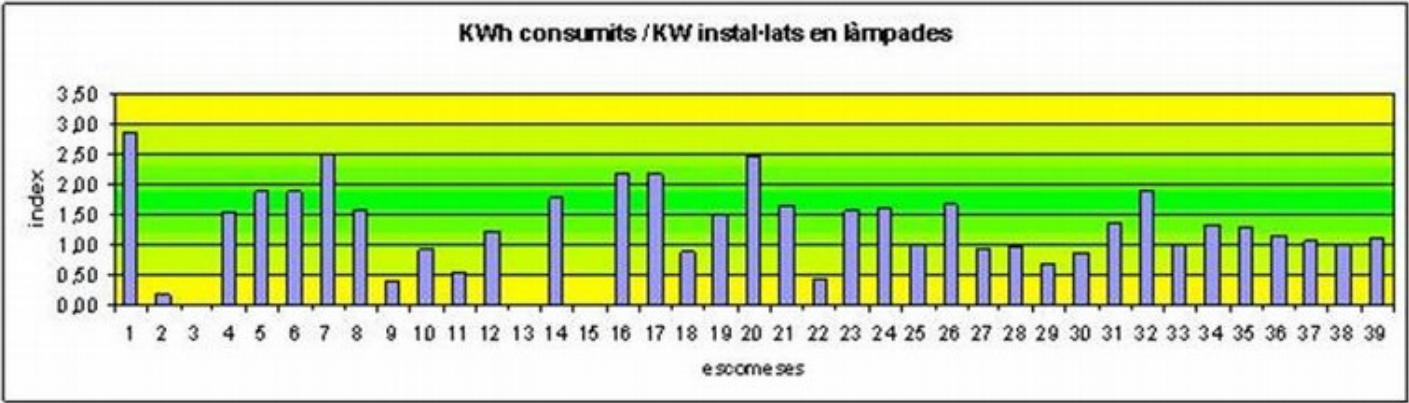
Índex 1



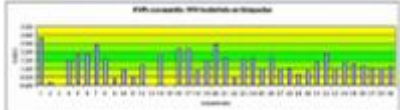
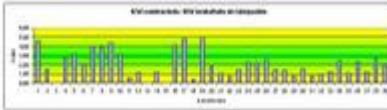
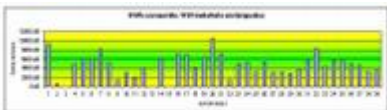
Índex 2



Índex 3



- A3. Després de veure el reportatge tesis - contaminació lumínica, fes una recerca sobre els efectes que suposa per al medi ambient la contaminació lumínica i feu-ne un debat a classe.



8. Crèdits

Com s'ha de citar aquesta unitat?

Vidal, N, ; del Rio, J. *Contaminació lumínica*. A: Carrera, E.; Segalàs, J. (ed.). *Tecnologia i sostenibilitat* [en línia]. Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat, 2010. [Consulta: dia mes any]. Disponible a: <<http://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu>>

Els continguts d'aquesta unitat han estat elaborats per:

Neus Vidal

Grup de Recerca SARTI
Departament d'Enginyeria Electrònica
Universitat Politècnica de Catalunya

Joaquin del Rio

Grup de Recerca SARTI
Departament d'Enginyeria Electrònica
Universitat Politècnica de Catalunya

