

# Visió del projectista: El servei lumínic eficient al projecte d'il·luminació.

Manuel Garcia Gil - Grup Treball Il·luminació



Generalitat de Catalunya  
**Departament de Territori  
i Sostenibilitat**

**EL PROJECTE - Context**

**LA IL·LUMINACIÓ COM A SERVEI**



**EL PROJECTE - Context**

**LA IL·LUMINACIÓ COM A SERVEI**

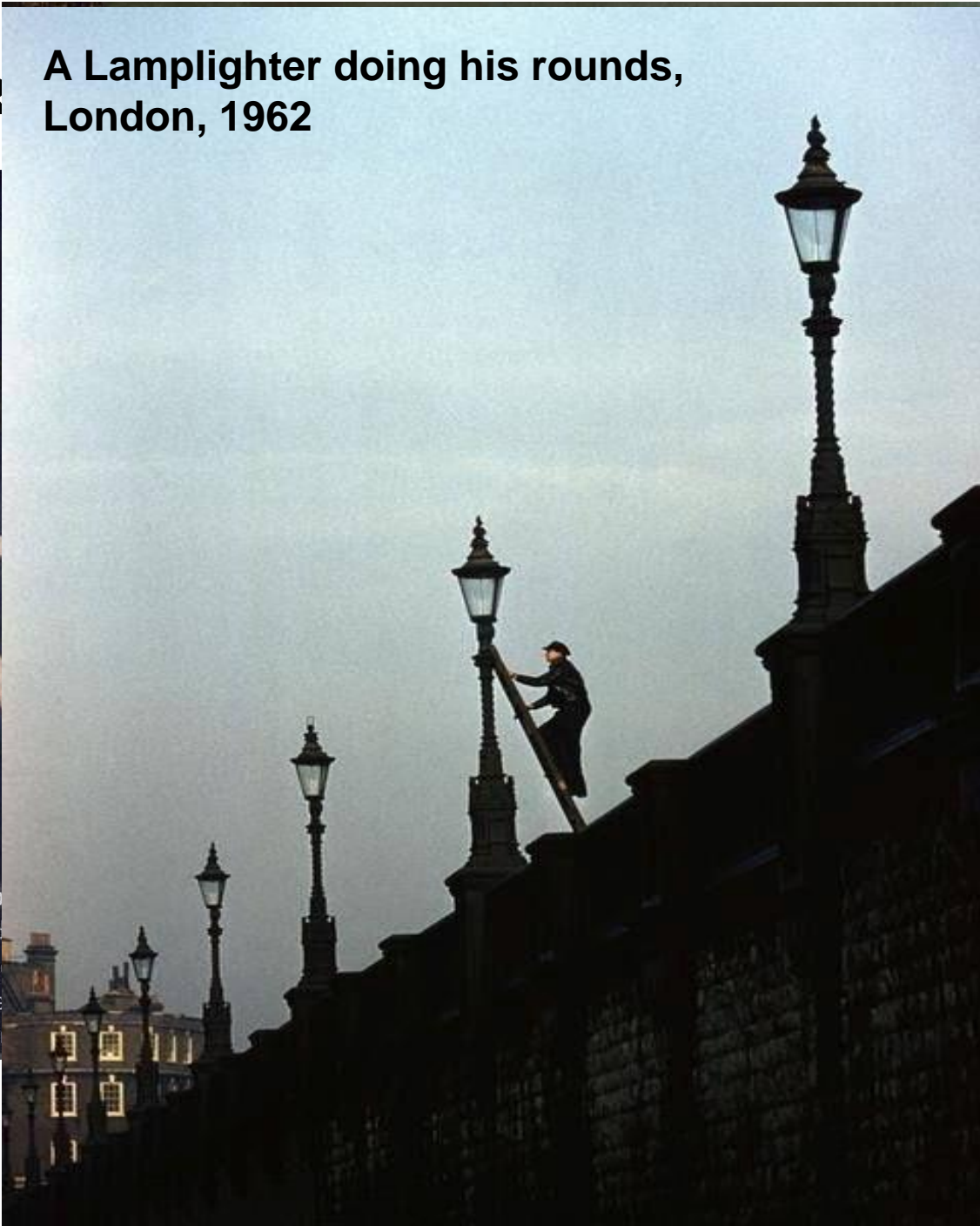


EL PR

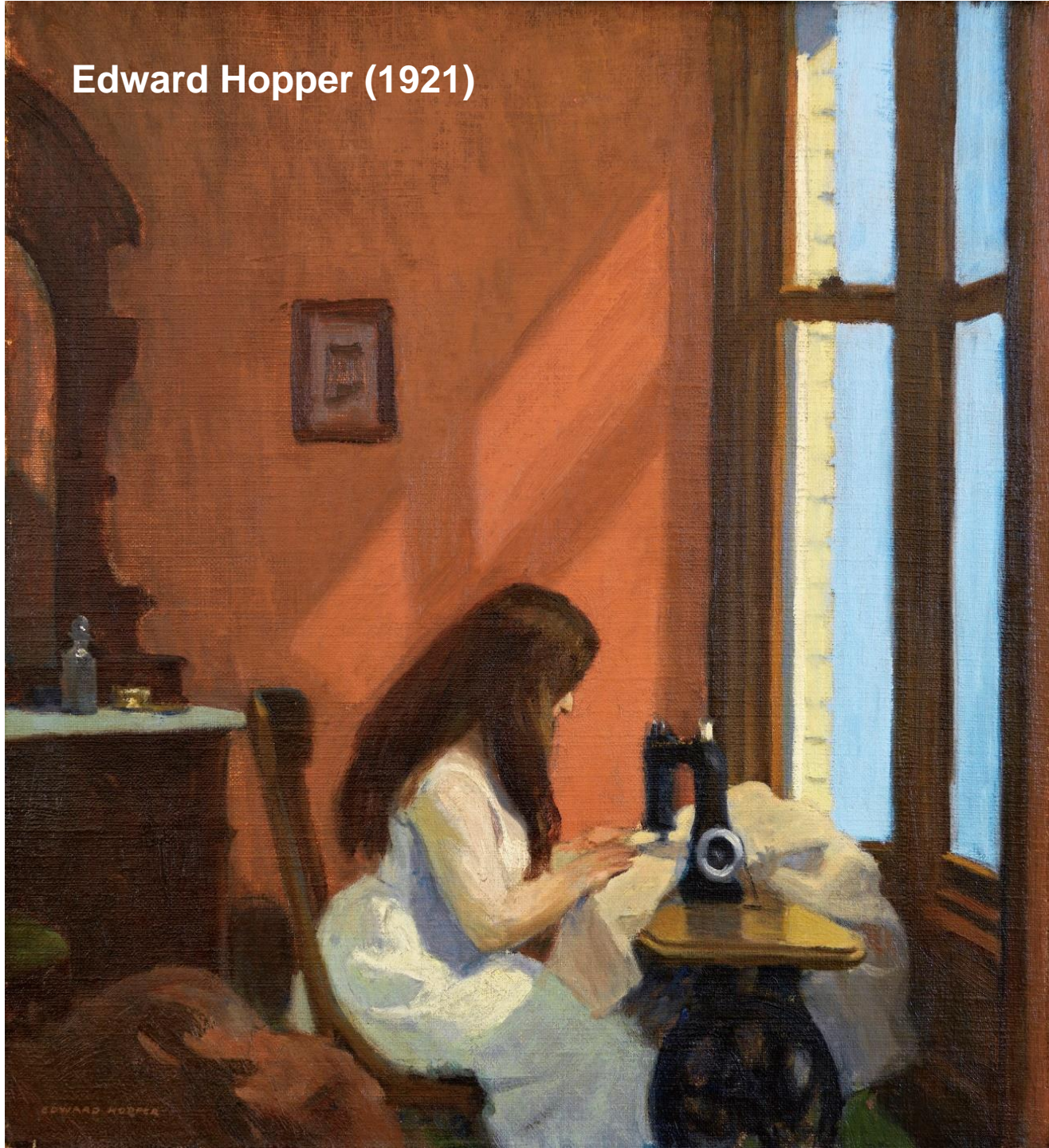
# A Lamplighter doing his rounds, London, 1962



Jo  
l'd  
th  
be  
M



Edward Hopper (1921)



# EL PROJECTE D'ENGINYERIA COM A EINA



# EL PROJECTE D'ENGINYERIA

## LA IL·LUMINACIÓ COM A SERVEI

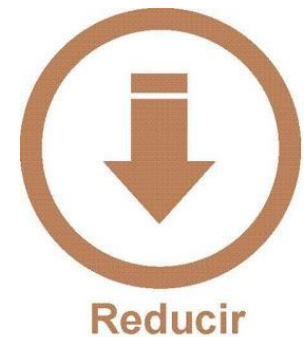


### Assolir el SERVEI ADIENT:

- Quantitat: Seguretat, funcionalitat
- Qualitat: Estètica, confort, seguretat, gaudir...
- En el temps:
  - Quan es necessita: Ajustament
  - Durant tota la seva vida: manteniment sostenibilitat...

### Minimitzant els recursos/perjudicis:

- Energètiques
- Manteniment
- Gestió
- Ambientals



## CONCEPTE "COMPLIANCE"

# EL PROJECTE – Presència d'una tecnologia disruptora

## El LED com a tecnologia d'unes millores potencials molt importants:

- Larga vida
- Disseny robust
- Eficiència energètica
- Capacitat de regulació
- Reproducció cromàtica
- Control de l'òptica

**FENÒMEN: Priorització de l'eficiència energètica**

**→ RISC DE RUPTURA AMB EL SERVEI LÚMÍNIC I REPERCUSSIONS EXTERNES**





# EL PROJECTE – Servei luminotècnic. ASSOLIR-HO!

## Requeriment

### Quantitat del servei

- Nivell lumínic en horitzontal [lx] o / i [cd/m<sup>2</sup>]
- Nivell lumínic en vertical i/o semicilíndric



## Requeriment

### Qualitat del servei lumínic

- Reproducció cromàtica – on sigui necessari
- Temperatura de color – on sigui necessari
- Uniformitats, relació d'entorn...
- Enlluernaments
- Ajustament a cicles biològics – on sigui necessari



## Requeriments

### Seguretat en el subministrament del servei

- Continuitat en el servei
- Flicker
- Seguretat fotobiològica
- ...

UNE 13201-x: 2016

UNE 12464-1:2012

UNE 12464-2:2016

LPRL

UNE 12464-1:2012

UNE-EN 12193:2009

Etc, etc etc...

Generalitat de Catalunya  
Departament de Territori  
i Sostenibilitat

## Necessitats usuari

- Requeriments (lumínics, funcionals, estètics, costos, manteniment...)
- Entorn (medi ambient, estanquitat...)



## Disseny

- Tecnologia
- Càlculs lumínics, elèctrics, energètics, ambientals...
- Costos: Inversió, explotació
- Document final

## Instal·lació:

- Permisos
- Execució i direcció de l'obra
- Control de qualitat

## Explotació

- Manteniment de prestacions: lumíniques, funcionals, seguretat, estat estructural..
- Costos: ambientals, energètics, manteniment ...



## Retirada

- Costos
- Repercussions

# EL PROJECTE –Normativa de l'eficiència energètica

## INTERIOR (CTE-HE3):

- VEEI [W/m<sup>2</sup>].100 lx

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

- Densitat de potència [W/m<sup>2</sup>]
- Aprofitament llum natural i sensorització de zones amb poc ús.

## EXTERIOR (RD1890/2008 i D190/2015):

- $\epsilon$  [lx./m<sup>2</sup>W]

$$\epsilon = \frac{S \cdot E_m}{P}$$

- Nivells màxims
- Rendiment de components
- Gestió de les instal·lacions

## 5 Mantenimiento y conservación

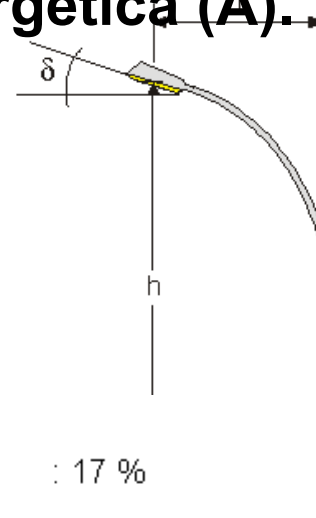
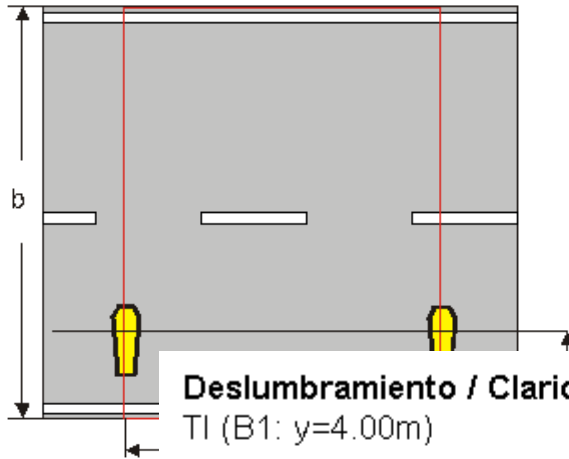
- 1 Para garantizar en el transcurso del tiempo el mantenimiento de los parámetros luminotécnicos adecuados y el *valor de eficiencia energética de la instalación* VEEI, se elaborará en el proyecto un plan de mantenimiento de las instalaciones de iluminación que contemplará, entre otras acciones, las operaciones de reposición de *lámparas* con la frecuencia de reemplazamiento, la limpieza de *luminarias* con la metodología prevista y la limpieza de la zona iluminada, incluyendo en ambas la periodicidad necesaria. Dicho plan también deberá tener en cuenta los sistemas de regulación y control utilizados en las diferentes zonas.

Analitza densitat de potència, i de forma indirecta la gestió energètica

HA GENERAT: Una cursa per a disminuir la densitat de potència, augmentar la utilància....

# EL PROJECTE – L'ambient a zones d'estar

## Projecte executat d'alta classe energètica (A).



**Deslumbramiento / Claridad del entorno**

TI (B1:  $y=4.00\text{m}$ )

: 17 %

**Iluminancia horizontal E**

Perfil de la calle

Término medio

: 15.8 lx

: Fila a la derecha

Anchura de la calza

Mínimo

: 5.3 lx

(h): 4.00 m

Cantidad de calzada

(a): 23.00 m

Revest. de la calza

**Iluminancia vertical E<sub>v</sub>**

(u): 1.00 m

Término medio

: 11.7 lx

Mínimo

: 0.2 lx

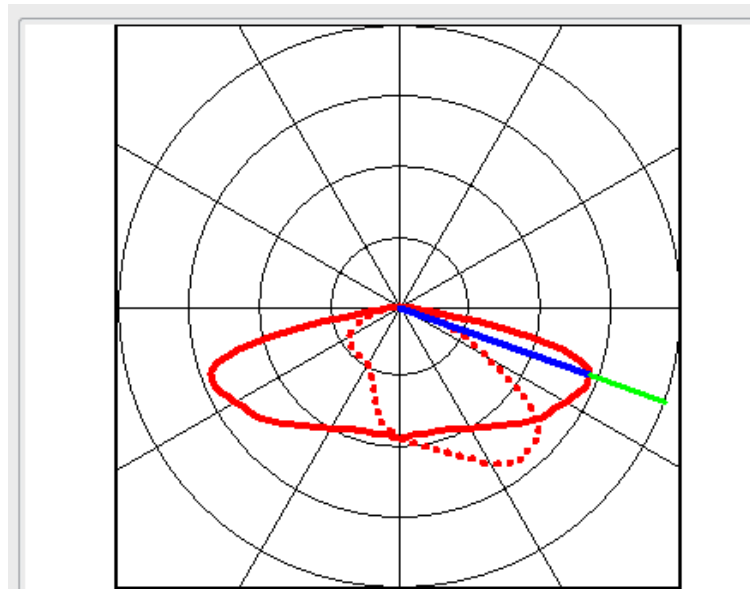
Classe	E <sub>m</sub> (horitz) mantinguda	E <sub>min</sub> (horitz) mantinguda	E <sub>min</sub> (vert) mantinguda	E <sub>min</sub> (sc) mantinguda
<b>P1</b>	15,0 lx	3,0 lx	5,0 lx	5,0 lx



Generalitat de Catalunya  
**Departament de Territori  
i Sostenibilitat**

# EL PROJECTE – L'ambient a zones d'estar

Projecte executat d'alta classe energètica (A).



Classe energètica A.

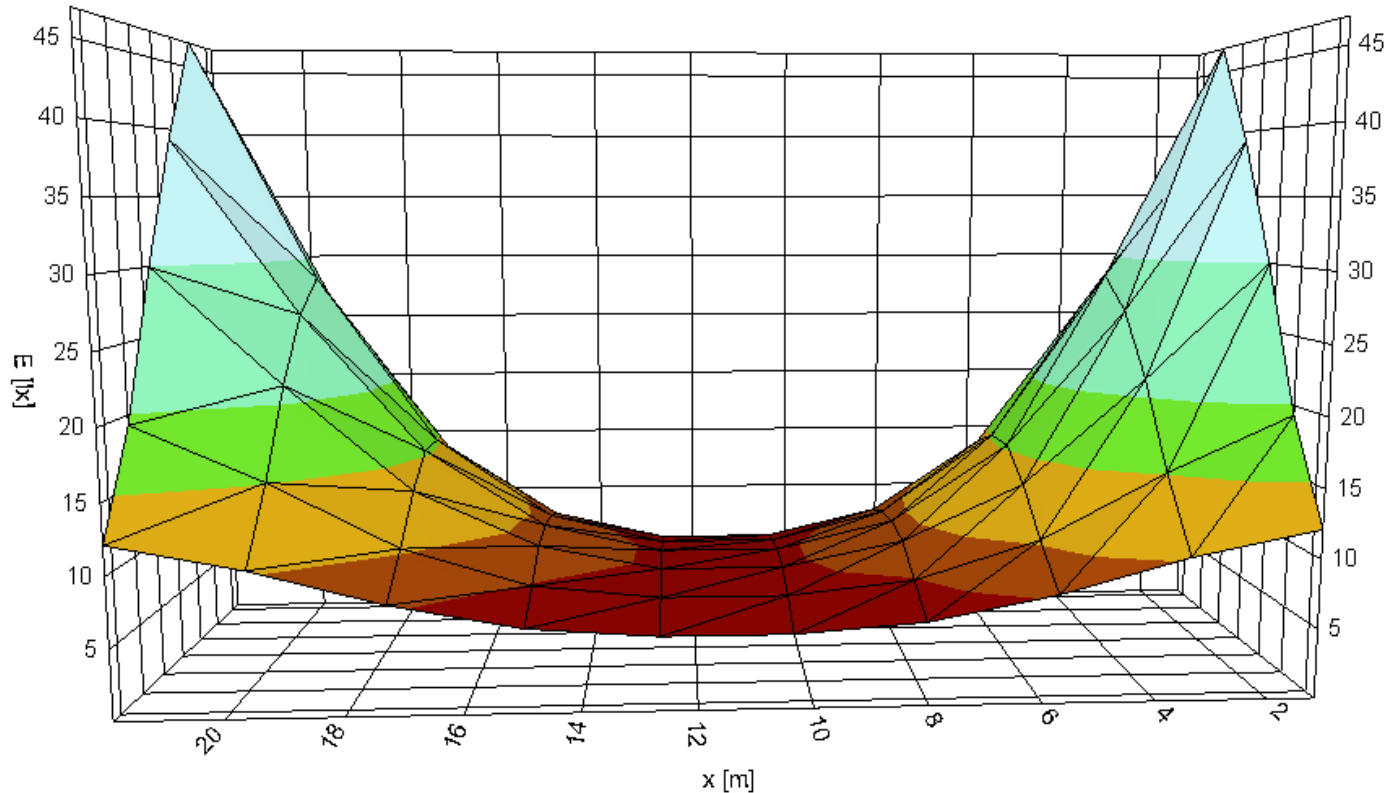
$\varepsilon > 50 \text{ lx} \cdot / \text{m}^2 \text{W}$

Utilancia= 0,63

$f_{T1}=17$  és inferior a 20 (OK segons UNE 13201-2)

# EL PROJECTE – L'ambient a zones d'estar

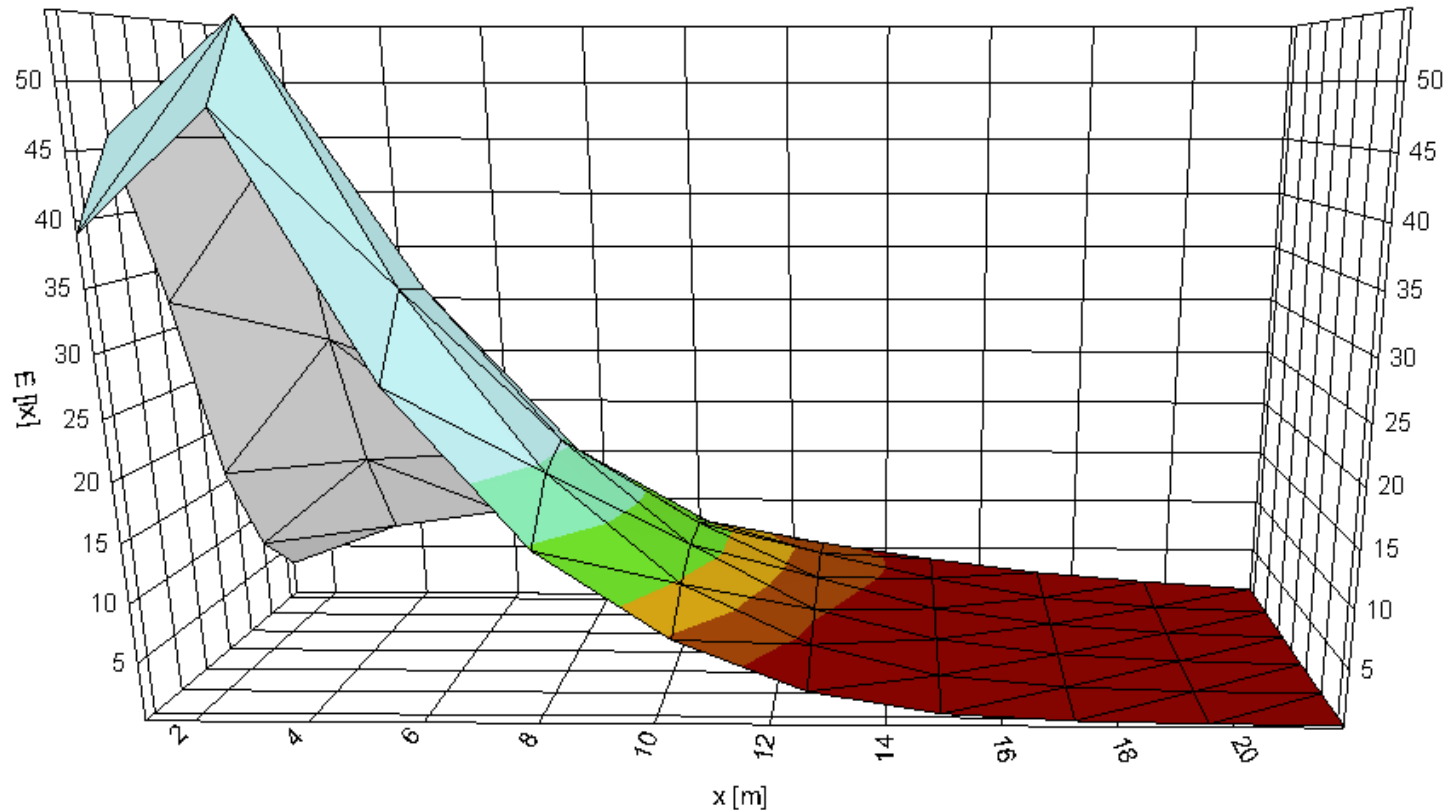
## Projecte executat d'alta classe energètica (A).



**Nivell lumínic horitzontal**

# EL PROJECTE – L'ambient a zones d'estar

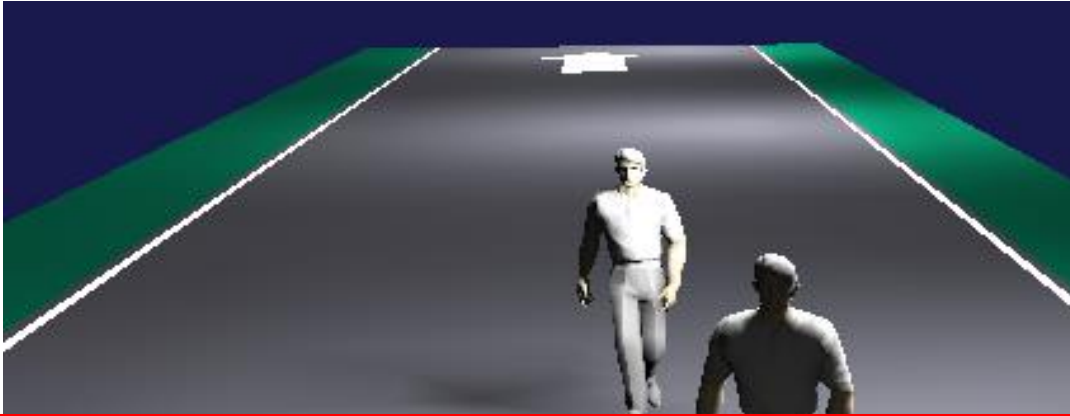
Projecte executat d'alta classe energètica (A).



Nivell lumínic vertical

# EL PROJECTE – L'ambient a zones d'estar

Projecte executat d'alta classe energètica (A).



**Necessitat de Ev per assolir nivells de classe P en zones de trànsit de vianants**

Problemes de visió vertical a baixa alçada





## Nivells mínims:

*Lighting Res. Technol.* 2018; 50: 390–404

### Illuminance required to detect a pavement obstacle of critical size

S Fotios PhD and J Uttley PhD  
School of Architecture, University of Sheffield, Sheffield, UK

Received 20 May 2016; Revised 23 June 2016; Accepted 24 June 2016

This paper investigates the illuminance needed to detect trip hazards for pedestrians walking after dark. In previous work, it was assumed that the critical obstacle height is 25 mm: further review of accident data and foot clearance data suggests instead that 10 mm is the critical height. Eye tracking records suggest a tendency for obstacles to be detected approximately 3.4 m ahead. Interpretation of obstacle detection data suggests horizontal photopic illuminances of up to 0.9 lux are required for peripheral detection of a 10 mm obstacle 3.4 m ahead, according to the scotopic/photopic ratio of the lighting and the age of the observer.

*Consideration of these results (...) suggests that a minimum photopic illuminance of **1.0 lux** is sufficient light for pedestrians of all ages to safely detect and avoid trip hazards under any type of lamp*



The Society of  
Light and Lighting



Generalitat de Catalunya  
**Departament de Territori  
i Sostenibilitat**

# EL PROJECTE – Nivells de quantitat de servei

## Nivells mínims:

Classe	$E_m$ (horitz) mantinguda	$E_{min}$ (horitz) mantinguda	$E_{min}$ (vert) mantinguda	$E_{min}$ (sc) mantinguda
P1	15,0 lx	3,0 lx	5,0 lx	5,0 lx
P2	10,0 lx	2,0 lx	3,0 lx	2,0 lx
P3	7,5 lx	1,5 lx	2,5 lx	1,5 lx
P4	5,0 lx	1,0 lx	1,5 lx	1,0 lx
P5	3,0 lx	0,6 lx	1,0 lx	0,6 lx
P6	2,0 lx	0,4 lx	0,6 lx	0,2 lx
P7	Prestació no determinada	Prestació no determinada		

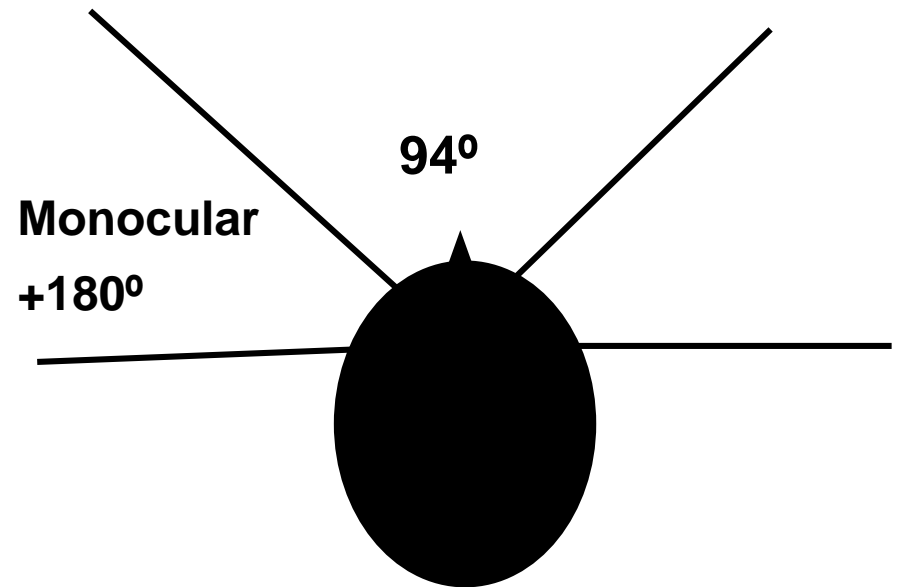
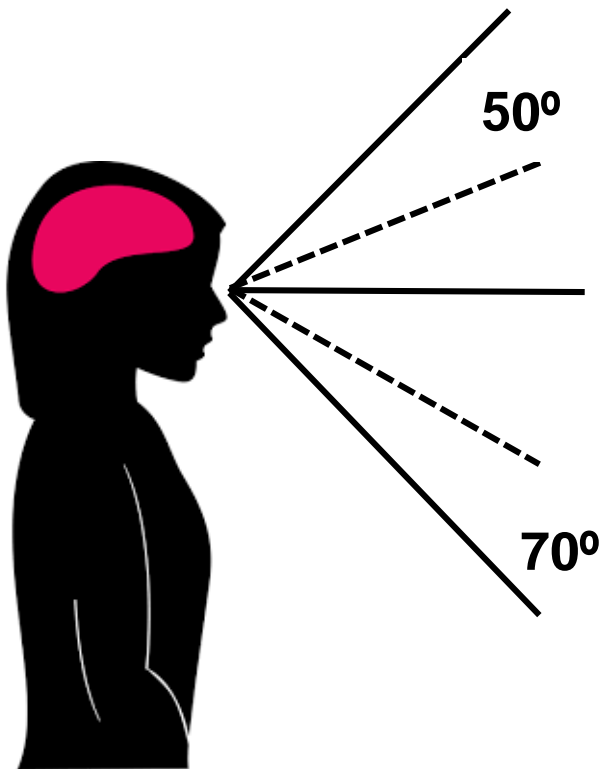
A partir de la UNE 13201-2: 2016.

Reduccions d'entre el 25% i el 40% d'una classe d'enllumenat a una altra. Són situacions típiques a les taules normatives.

**Amb nivells d'il·luminació reduïts es podria garantir la seguretat de trànsit. Amb qualitat lumínica (Ev, TI, Uo, UI...).**

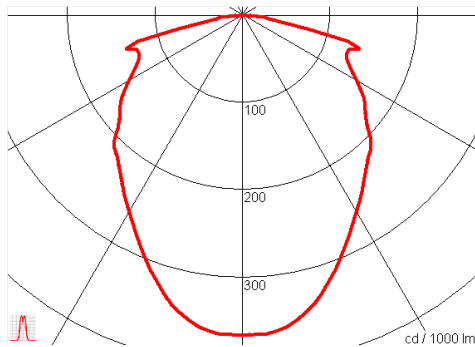
# EL PROJECTE – Servei luminotècnic. ASSOLIR-HO!

## Enlluernament

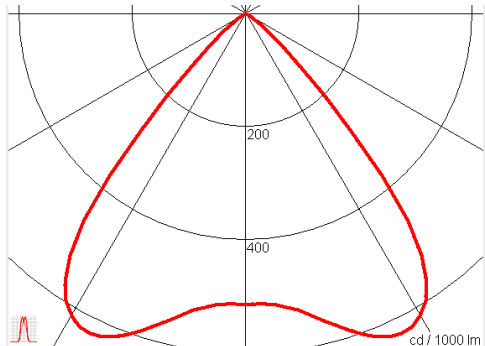


# EL PROJECTE – Servei luminotècnic. ASSOLIR-HO!

## Enlluernament a interiors



**UGR>27**



**UGR=22,3**

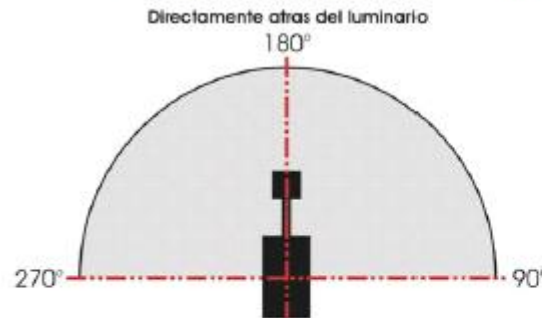


# EL PROYECTO – Servei luminotècnic. ASSOLIR-HO!

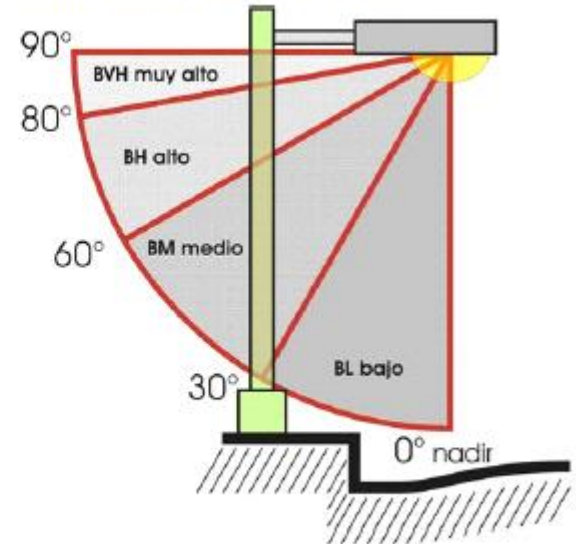
## Enlluernament a exteriors:



Figura D5. Angulos sólidos secundarios verticales para luz atrás o lado casa



a) Vista en planta del ángulo sólido de luz atrás



b) Vista en sección del ángulo sólido de luz atrás

**NORMA Oficial Mexicana NOM-031-ENER-2012**, Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba.

UNE 12301-2:2016, UNE 12464-2: 2012 → GR , UGR, TI, D....

**Control de l'enlluernament per garantir la suficiència dels nivells de quantitat de llum i la qualitat del servei**

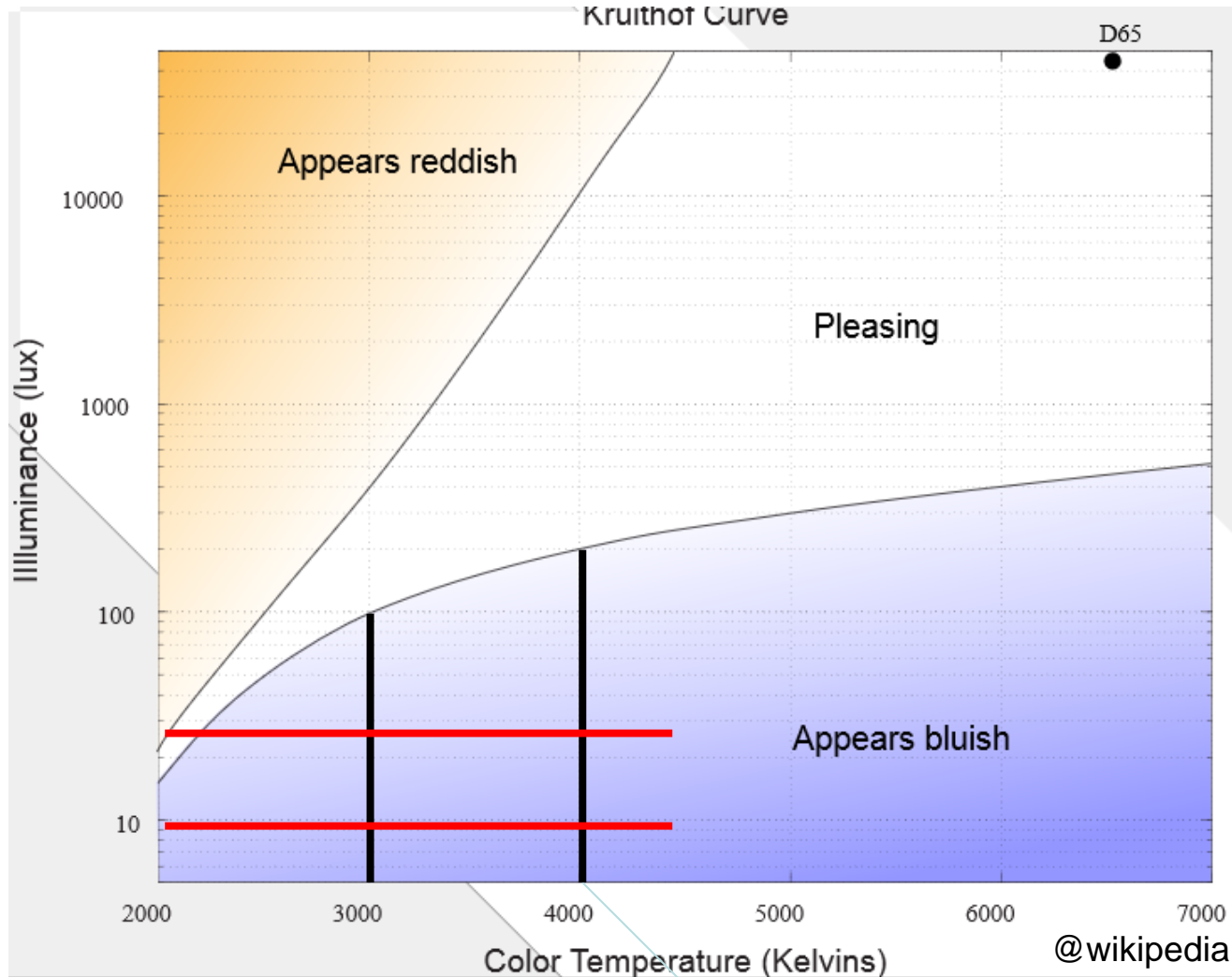
# EL PROJECTE – L'ambient a zones d'estar

## Ambient lumínic a interior:

- És habitual il·luminar zones d'interior de baixos nivells lumínics amb llum càlida
- És habitual il·luminar zones de treball amb nivells elevats amb llum neutra.



# EL PROJECTE – L'ambient a zones d'estar



@wikipedia



Generalitat de Catalunya  
Departament de Territori  
i Sostenibilitat

# EL PROJECTE – L'ambient a zones d'estar

The screenshot shows a web browser displaying a news article on the website [www.elperiodico.cat](http://www.elperiodico.cat). The article is titled "Els llums del meu carrer" (The lights of my street) by David Trueba, Director de cine. The article is categorized under "ARTICLES D'OCASIÓ" (Occasional articles). The article's content is partially visible, showing the beginning of a paragraph: "Els meus amics sempre s'han preguntat les". The article is dated "DILLUNS, 26 DE GENER DEL 2015 - 20:19 CET". The article has 2 Facebook shares and 0 Google+ shares. The article is part of a collection of "Més articles de l'autor" (More articles by the author), which includes "Pluja de realitat" and "La gran elusió". The article is also part of a series of articles, with the next article in the series being "Sorgir amb força un partit ecologista. La resposta és senzilla". The article is also part of a series of articles, with the next article in the series being "Sorgir amb força un partit ecologista. La resposta és senzilla".

**Adequar la temperatura de color de la llum en funció de la tasca, els nivells i les repercussions externes.**



Costos energètics a la fase  
d'exploració.



# EL PROJECTE – Fase d'exploració

**Exemple de costos energètics** en funció del tipus de LED escollit, per municipi mitjà (25.000 habitants/3500 p.II). Amb sistema de regulació idèntic a regulació a mitjanit.

	<b>INICIAL descàrrega</b>	<b>LED 4000 K</b>	<b>LED 3000 K</b>	<b>LED PC- Ambre</b>
<b>Potència mitja unitària [W]</b>	121	55	60	76
<b>Potència total inst. (kW)</b>	423,5	192,5	210	266
<b>Consum total (kWh)</b>	1.524.600	693.000	756.000	957.600
<b>Estalvi (%)</b>	-	55%	50%	37%
<b>Cost total energia [€]</b>	228.690 €	105.840 €	113.400 €	143.640 €



0,1% pressupost municipal

**NOTA:** Per un municipi petit d'uns 100-200 punts de llum fer una política amb llum PC – Ambre suposa entre 500-1000 € anuals de diferència respecte LED 3000 K.



# EL PROJECTE – Presència d'una tecnologia disruptora

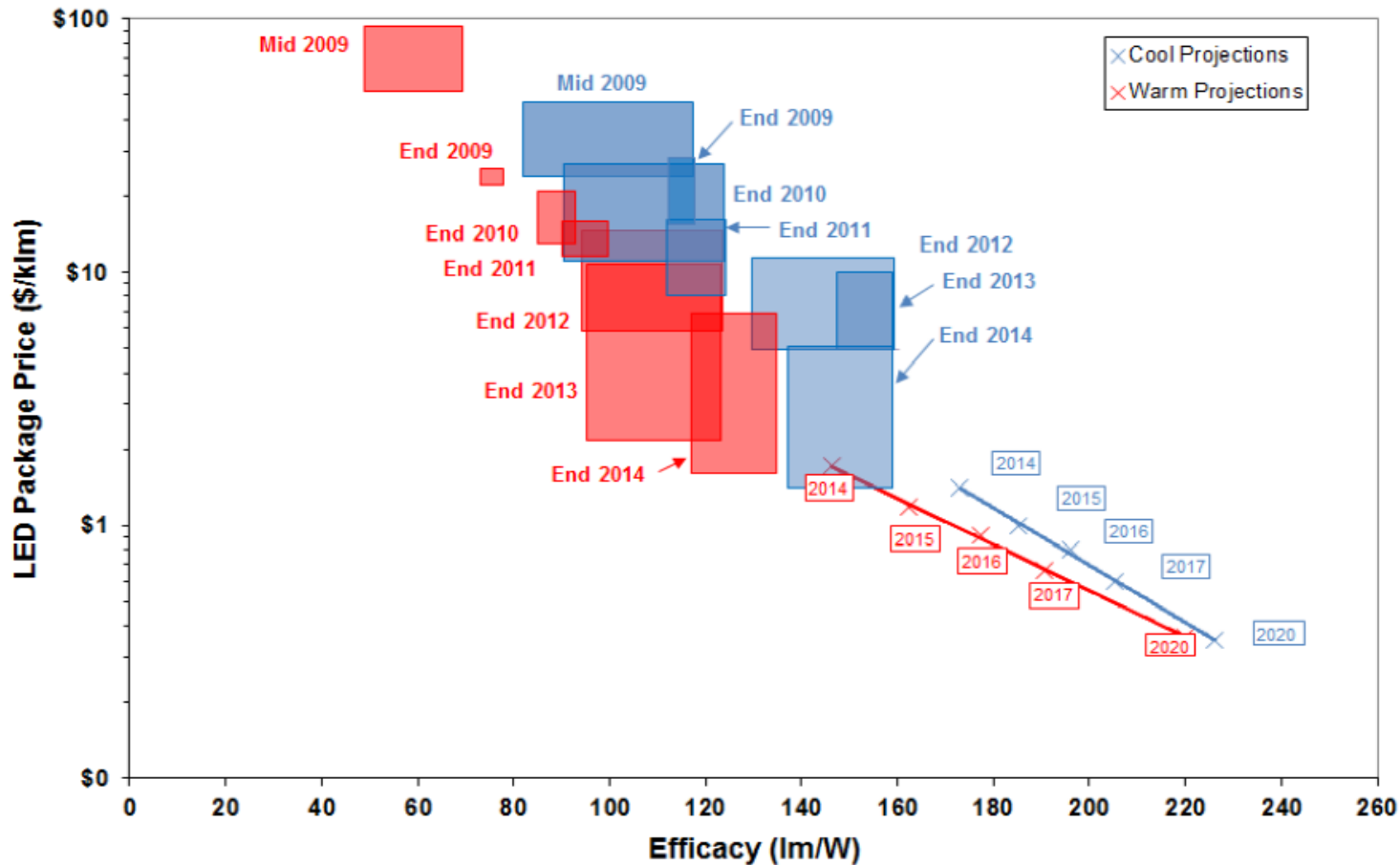
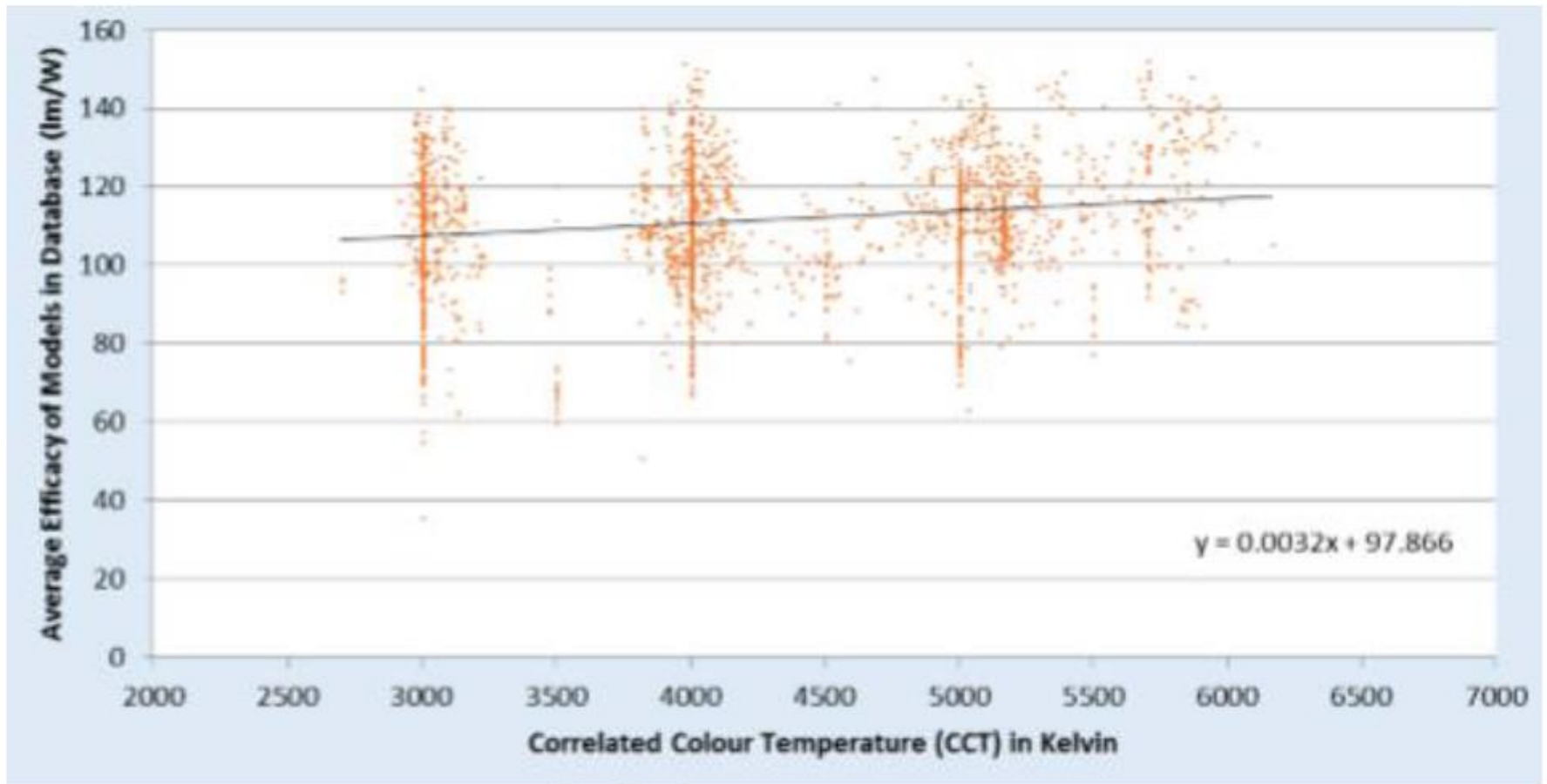


Figure 3. Price-efficacy trade-off for LED packages at 1 W/mm<sup>2</sup> (equiv. 35 A/cm<sup>2</sup>) and 25°C (DOE, 2015).

# EL PROJECTE – Presència d'una tecnologia disruptora



Database of Department Of Energy – USA (2015)

**La diferència d'eficàcia lluminosa entre led càlid i neutre, tendeix a valors no significatius.**

# TELEGESTIÓ DE LES INSTAL·LACIONS



# EL PROJECTE – Gestió adient en el temps

## TESIS DOCTORAL :La dinàmica de la llum: visió i control de la il·luminació en l'oficina.

*En els resultats (...) es pot veure com la tecnologia de fotocèl·lules o fotosensors, ha sigut utilitzada majoritàriament per controlar l'enllumenat artificial (86% dels casos), però dels quals un 76,9% no funcionen pròpiament. El 40 % dels casos estudiats tenien pantalles interiors automàtiques de les quals un 66,6% van ser desactivades o canviades a control manual. També es pot veure com el control d'il·luminació mitjançant fotosensors, és utilitzat en un 40% dels casos. El fotosensors van ser desconnectats en un 50% ....*

Cunill, E. (2008). **La dinàmica de la llum: visió i control de la il·luminació en l'oficina.** Universitat Politècnica de Catalunya.



# EL PROJECTE – Gestió adient en el temps

## TESIS DOCTORAL :La dinàmica de la llum: visió i control de la il·luminació en l'oficina.

*La falta de comprensió i disseny en la fase inicial del projecte, afegit a problemes econòmics de comissió i manteniment d'aquests sistemes, han portat generalment a una no satisfacció i frustració pel que fa a l'efectivitat del seu funcionament i conseqüentment a un abandó d'ús o canvi a opció d'accionament manual.*

Cunill, E. (2008). **La dinàmica de la llum: visió i control de la il·luminació en l'oficina.** Universitat Politècnica de Catalunya.

- Necessitat d'adequació del sistema al usuari, planificació de recursos econòmics i manteniment per al seu funcionament.
- Millora en la fiabilitat per a sistemes de seguretat.
- Origen d'un nou cost d'explotació: (tele)gestió de les instal·lacions.

**ALT POTENCIAL D'ESTALVI ENERGÈTIC: 30-60 %.**

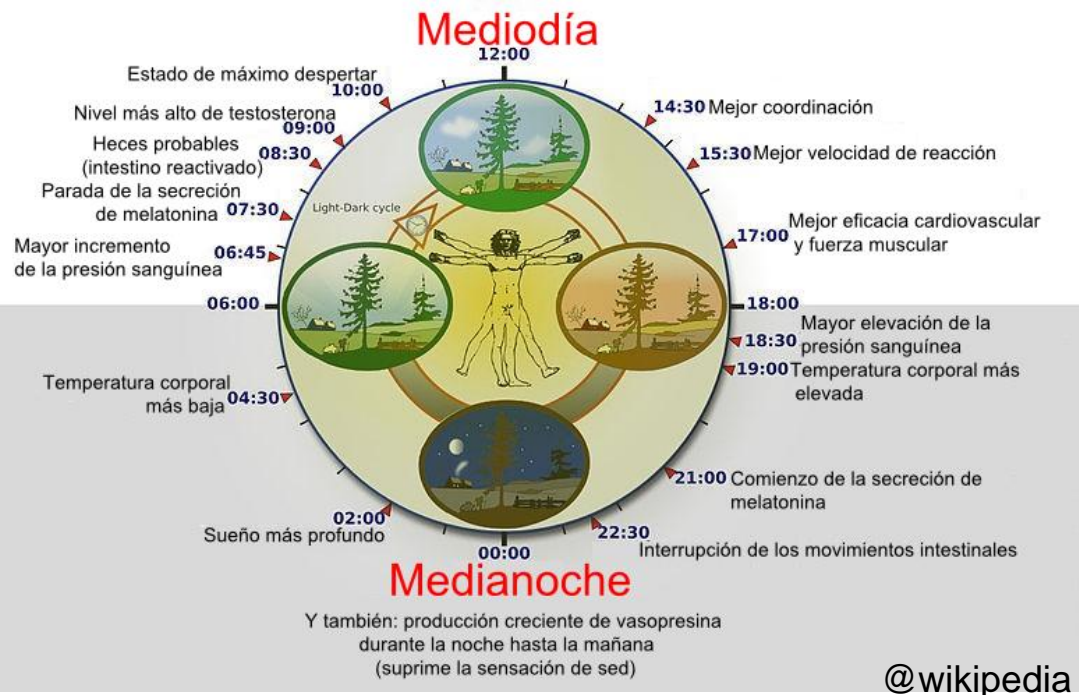


**CALCULAR LA LLUM SEGONS LES NECESSITATS BIOLÒGIQUES**



# EL PROJECTE – Gestió adient en el temps

## Llum biodinàmica



Llum de component blava durant el dia.  
Llum amb molt poca (o nul·la) component blava durant la nit.  
**Transicions...**

# EL PROJECTE – Gestió adient en el temps

## Llum biodinàmica: Introducció de noves formes d'avaluar l'eficiència de les fonts de llum.

Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer 206 (2018) 399–408



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jqsrt](http://www.elsevier.com/locate/jqsrt)



Beyond CCT: The spectral index system as a tool for the objective, quantitative characterization of lamps



D. Galadí-Enríquez

*Centro Astronómico Hispano-Alemán, Observatorio de Calar Alto, Sierra de los Filabres, Almería ES-04550-Gérgal, Spain*

### ARTICLE INFO

*Article history:*  
Received 17 October 2017  
Revised 15 November 2017  
Accepted 15 December 2017  
Available online 16 December 2017

*Keywords:*  
Correlated color temperature  
Lighting devices

### ABSTRACT

Correlated color temperature (CCT) is a semi-quantitative system that roughly describes the spectra of lamps. This parameter gives the temperature (measured in kelvins) of the black body that would show the hue more similar to that of the light emitted by the lamp. Modern lamps for indoor and outdoor lighting display many spectral energy distributions, most of them extremely different to those of black bodies, what makes CCT to be far from a perfect descriptor from the physical point of view. The spectral index system presented in this work provides an accurate, objective, quantitative procedure to characterize the spectral properties of lamps, with just a few numbers. The system is an adaptation to lighting technology of the classical procedures of multi-band astronomical photometry with wide and intermediate-band

(Galadi-Enriquez, D. 2018)



## Llum biodinàmica

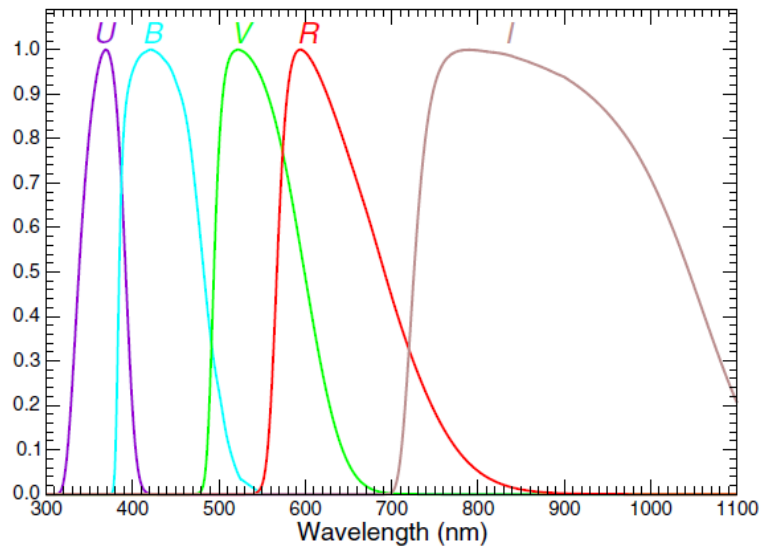


Fig. 1. Normalized transmission curves for the five filters of the Johnson-Cousins system used in astronomical photometry. More information in Section 2.1 and Table 2. See [2].

(Galadi-Enriquez, D. 2018)

**PUBLICACIÓ AL :**  
**COMITÉ ESPAÑOL DE ILUMINACIÓN (2018)**

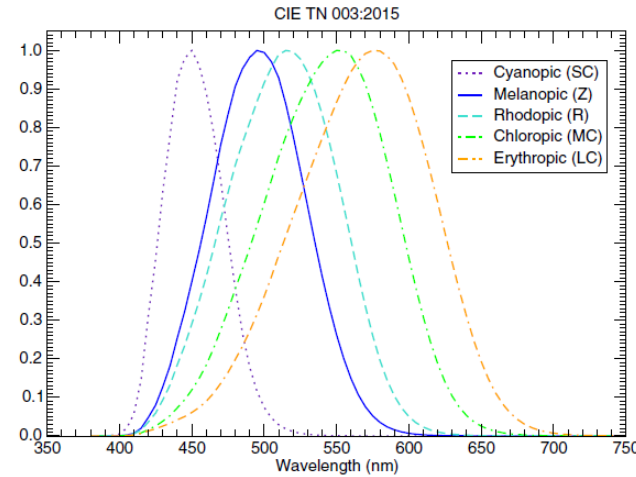


Fig. 3. Normalized sensitivity curves for the five human photo-receptors, after applying the pre-receptor transmittance function. See Annex A to [6].

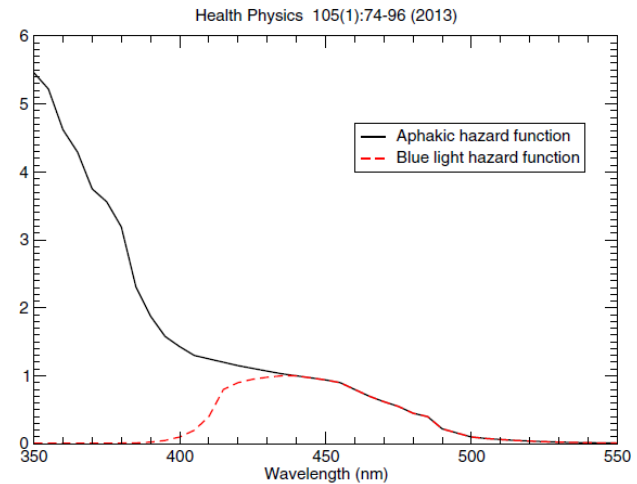


Fig. 4. Action curves named blue-hazard function (*B*, dashed line) and aphakic hazard function (*A*, solid line), from [11]. The descriptors of *B* function (Eq. (1)) are  $\lambda_{\text{eff}} = 446.2$  nm,  $\Delta\lambda = 69.0$  nm, not too far from the astronomical Johnson *B<sub>j</sub>* band (Table 2, Fig. 1). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

# EL PROJECTE – Gestió adient en el temps

## 3.3. Flujo relativo en dos filtros

Damos un paso más hacia nuestro objetivo al plantearnos cocientes entre flujos filtrados en dos bandas distintas. Dado un espectro,  $E(\lambda)$ , y dos filtros,  $F_1(\lambda)$  y  $F_2(\lambda)$ , consideramos el cociente:

$$Q_{1,2}(E) = \frac{\Phi_{E,F1}}{\Phi_{E,F2}} = \frac{\int \varphi_1 F_1(\lambda) \varepsilon E(\lambda) d\lambda}{\int \varphi_2 F_2(\lambda) \varepsilon E(\lambda) d\lambda} = \frac{\varphi_1 \varepsilon \int F_1(\lambda) E(\lambda) d\lambda}{\varphi_2 \varepsilon \int F_2(\lambda) E(\lambda) d\lambda} = \frac{\varphi_1 \int F_1(\lambda) E(\lambda) d\lambda}{\varphi_2 \int F_2(\lambda) E(\lambda) d\lambda}$$

Radiació per sota de 500 nm inferior al 15%

$$Q_{L500, \text{bol}}(E) = \frac{\Phi_{E, L500}}{\Phi_{E, \text{bol}}} < 0.15$$

(Galadi-Enriquez, D. 2018)



## EL PROJECTE – Gestió adient en el temps i la zona

	Q <sub>L500-V</sub>	% LED 3000K	Q <sub>Z-V</sub>	% LED 3000K
Vapor sodi alta pressió	0,12732	-49%	0,12804	-67%
Vapor sodi baixa pressió	0,02994	-88%	0,04280	-89%
LED PC-Ambre	0,01056	-96%	0,06685	-83%
LED 2200K	0,14457	-42%	0,26555	-31%
LED 3000K	0,24897	-	0,38354	-
LED 4000K	0,37406	50%	0,48377	26%
LED 5000K	0,54875	120%	0,58684	53%
Fluorescent 4000K	0,65566	163%	0,45020	17%

- Sobre la incidència sobre la cèl·lula fotosensible *Melanopic* (Z), l'espectre d'emissió del LED blanc de 5000 K té una incidència un 53% superior que el de 3000K, per lúmen visible.
- Sobre la incidència sobre la zona d'emissió per sota dels 500 nm, l'espectre d'emissió del LED 4000K és un 50% superior a la del led 3000K, per lúmen visible.
- Sobre la incidència sobre la zona d'emissió per sota dels 500 nm, l'espectre d'emissió del LED PC-Ambre és un 96% inferior a la del led 3000K, per lúmen visible.

**CONEXEMENT DE LES AFECTACIONS DE LA LLUM PER EVITAR EL RISC DE NO AJUSTAR-SE A LES NECESSITATS FISIOLÒGIQUES HUMANES**

**EL PROJECTE D'ENLLUMENAT EFICIENT**

**i**

**MANTINGUT EN EL TEMPS**

@thierrycohenphotography

## EL PROJECTE EFICIENT EN EL TEMPS



**a) Assoliment de tots els requeriments al llarg de tota la seva vida útil per no posar en risc al servei lumínic**



**b) Analitzar en diferents alternatives , potencial d'estalvi:**

- 5-11% en selecció de led neutre respecte càlid.
- 25-40% en una bona política de nivells lumínics
- 30-60% en un òptima telegestió de les instal·lacions
- 10-30% amb gestió preventiva / predictiva del manteniment.



**c) Consideració dels costos i repercussions en el temps (ambientals, manteniment, control Q, etc).**

Un cop utilitzada la tecnologia LED, el potencial d'estalvi més important està en la (tele)gestió de les instal·lacions: **ADEQUACIÓ DE NIVELLS, APROFITAMENT DE LLUM SOLAR I DETECCIÓ D'USUARIS**

# EL PROYECTO – El món continua en moviment...



The image shows a screenshot of a news article from the website 'LA VANGUARDIA'. The article is titled 'Por primera vez se logra confinar la luz en un átomo' (For the first time, light is confined in an atom). The sub-headline reads 'GRACIAS AL GRAFENO' (Thanks to graphene). The main text states: 'El descubrimiento abre la puerta a fabricar dispositivos electrónicos ultrafinos y ligeros' (The discovery opens the door to manufacturing ultra-thin and light electronic devices). Below the text is an artistic illustration of a graphene lattice (a grid of black spheres) with a layer of dielectric material (represented by yellow and orange spheres) on top. The background is a warm, orange and yellow sky. The caption below the image reads: 'Impresión artística de la luz confinada (plasmón) entre el metal y el grafeno, separada únicamente por un dieléctrico de un solo átomo de espesor (ICFO/Fabien Vialla)'.

LA VANGUARDIA

Big Vang

CIENCIA Y CULTURA | CUERPO HUMANO | FÍSICA Y ESPACIO | PLANETA TIERRA

**GRACIAS AL GRAFENO**

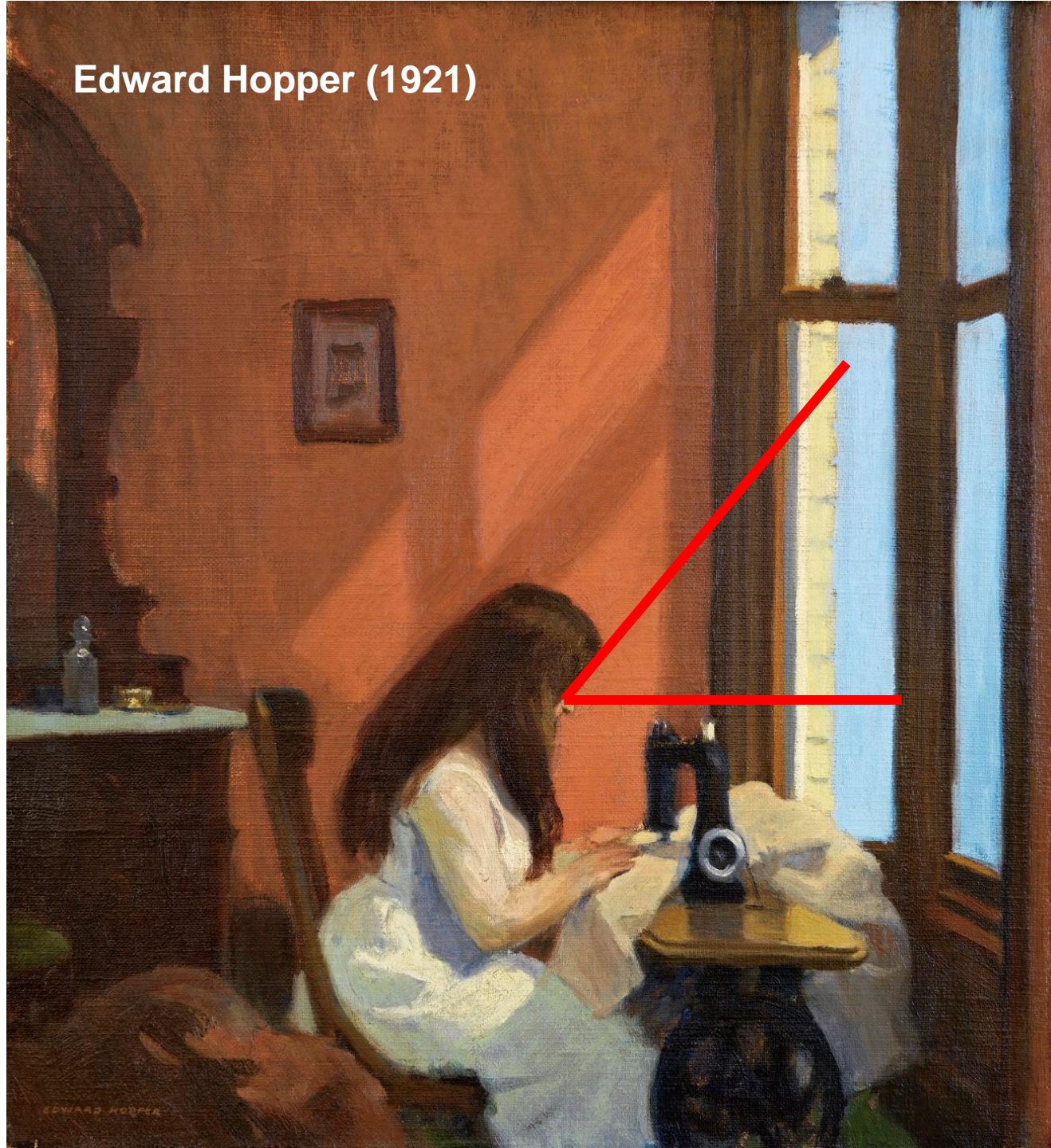
## Por primera vez se logra confinar la luz en un átomo

El descubrimiento abre la puerta a fabricar dispositivos electrónicos ultrafinos y ligeros

Impresión artística de la luz confinada (plasmón) entre el metal y el grafeno, separada únicamente por un dieléctrico de un solo átomo de espesor (ICFO/Fabien Vialla)



Edward Hopper (1921)



**El servei lumínic eficient al projecte d'il·luminació.**

**Moltes gràcies**

**Manuel Garcia Gil  
Grup Treball Il·luminació- COEIC  
Departament Territori i Sostenibilitat- GENCAT**