

ACE 31

Electronic offprint

Separata electrónica

INFLUENCIA DE LA LUZ PRIVADA DOMÉSTICA SOBRE LA FUENTE DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Manuel García Gil y Naiara González Dorta

Cómo citar este artículo: GARCÍA, M y GONZÁLEZ, N. *Influencia de la luz privada doméstica sobre la fuente de la contaminación lumínica* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 11 (31): 93-120, 2016. DOI: 10.5821/ace.11.31.4651. ISSN: 1886-4805.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

c

ACE 31

Electronic offprint

Separata electrónica

THE INFLUENCE OF PRIVATE LIGHTS ON THE SOURCE OF THE LIGHT POLLUTION

Key words: Light pollution; urbanism; sustainability; outdoor lighting.

Abstract

From the beginning of its most severe study, in the seventies, all efforts on light pollution in the city, have focused primarily on reducing pollutant flux emitted by the public road lighting systems. In this research, the focus of attention is diverted to the analysis of the sources of domestic private light, it is expected to open new avenues of research and increase knowledge about the problem in cities.

The analysis is developed in a particular area of the city of Barcelona, Spain. Is taken as reference the district of Les Corts with an area of about 136.6 hectares. We analysed and classified the neighbourhood streets, according to their type and their pollution contribution is calculated by RAMA-L computer simulation method developed at the UPC (Garcia Gil, 2009). As a fundamental parameter Superior Flow Emitted (in Spanish EFS) is used. The software used in the simulation will be the DIALUX (DIAL, 2015). It will take into account only domestic light from the windows of the houses in the neighbourhood, ignoring other private sources, and compared to the light pollution from sources of road public. The approach is through a simplified method, per provides comparable data, in order of magnitude.

This work shows that the contribution to light pollution of domestic private light regarding efficient lighting is high enough to consider possible improvements and solutions.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

c

INFLUENCIA DE LA LUZ PRIVADA DOMÉSTICA SOBRE LA FUENTE DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

GARCÍA GIL, Manuel¹
GONZÁLEZ DORTA, NAIARA

Remisión inicial: 05-08-2015

Remisión final: 09-06-2016

Palabras clave: Contaminación lumínica; urbanismo; alumbrado exterior; sostenibilidad.

Resumen estructurado

Desde el inicio de su estudio más severo, en los años setenta, todos los esfuerzos sobre la contaminación lumínica en la ciudad, se han centrado fundamentalmente en la reducción del flujo contaminante emitido por las luminarias de alumbrado público. Con este trabajo se desvía el punto de atención hacia el análisis de las fuentes de luz privada doméstica, con ello se espera abrir nuevas vías de investigación y ampliar el conocimiento sobre el problema dentro de las ciudades.

Se plantea el análisis de un área concreta de la ciudad de Barcelona, España. Se toma como referencia el barrio de Les Corts con una extensión de unas 136,6 Ha. Se analizan cada una de las calles del barrio clasificándolas según su tipología y se calcula su aporte contaminante mediante el método RAMA-L de simulación informática desarrollado en la UPC (García Gil, 2009). Como parámetro fundamental se utiliza la Emisión de Flujo Superior (EFS). El software utilizado en la simulación será el DIALUX (DIAL, 2015). Se tendrá en cuenta sólo la luz doméstica procedente de las ventanas de las viviendas del barrio, obviando otros tipos fuentes privadas, y se compara con la contaminación lumínica producida por fuentes de luz pública viales. El planteamiento es mediante un método simplificado, para proporcionar datos comparables relativos, en orden de magnitud y sin considerar aspectos del espacio público como: arbolado, voladizos, etc.

Con este trabajo se demuestra que la contribución a la contaminación lumínica de la luz privada doméstica con respecto a un alumbrado público eficiente es lo suficientemente alta como para plantear posibles mejoras y soluciones.

¹ **Manuel García Gil:** M. Ph D, Universitat Politècnica de Catalunya. Email de contacto: manuel.garcia.gil@upc.edu

1. El concepto de contaminación lumínica

Tradicionalmente, el alumbrado se ha considerado como un servicio al hombre, por lo que el estudio de sus repercusiones se ha centrado en la generación de residuos y consumo energético. Este enfoque se considera incompleto, y se adopta el análisis de la contaminación lumínica, como elemento específico del alumbrado (Bará, 2013). En definitiva, el concepto de contaminación lumínica no es igual para todos los que hablan de él.

Desde un punto de vista normativo o reglamentario, se suele utilizar una definición que no cuestione la necesidad de luz en entornos habitados. Con esta premisa, contaminación lumínica sería: “la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, horarios o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se han instalado las luminarias” (GENCAT, 2001: 1).

Esta definición no es adecuada, puesto que presupone que una zona bien iluminada no contamina. Afirmación que no es cierta, la contaminación lumínica existe siempre que haya alumbrado en una zona oscura. Científicamente se entiende entonces por contaminación lumínica toda alteración de la oscuridad natural del medio nocturno producida por la emisión de luz artificial. Recogiendo estas definiciones y completándolas con los requerimientos medioambientales, la contaminación lumínica sería:

“Any adverse effect of artificial light, including sky glow, glare, light trespass, light clutter, decreased visibility at night, and energy waste. Light pollution wastes energy, affects astronomers and scientists, disrupts global wildlife and ecological balance, and has been linked to negative consequences in human health.”
(DARKSKY, 2015: s/p).

La contaminación lumínica es por tanto la repercusión del uso de alumbrado artificial, y que altera de cualquier forma el entorno natural oscuro, introduciendo en él un elemento físico (radiación electromagnética), por el cual diferentes seres vivos se ven afectados y responden en sus acciones y relaciones (García Gil et al, 2012).

El estudio de la contaminación lumínica (en adelante, CL) nace en los años setenta en los observatorios astronómicos a consecuencia de la primera forma de contaminación conocida, el resplandor luminoso nocturno que se genera sobre las áreas urbanas (Treanor, 1973; Walker, 1976 y 1977). La primera medida legal en España contra la contaminación lumínica fue la denominada Ley del Cielo de Canarias (Ley 31/1988, de 31 de octubre), que creó una reserva astronómica alrededor de los observatorios de Tenerife y La Palma. Posteriormente, distintas comunidades autónomas desarrollaron normas cuyo objeto es, además de proteger las observaciones astronómicas, proteger a los ecosistemas, reducir el consumo energético y evitar la intrusión y las molestias lumínicas. La primera Comunidad Autónoma en introducir esta

normativa fue Cataluña, con la aprobación de la Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno, ésta primera ley ha servido de referente para las desarrolladas posteriormente (GENCAT, 2001, 2005 y 2014).

A medida que se han establecido obligaciones legales correctoras, la problemática se ha vuelto más específica y se ha ido adquiriendo una conciencia sobre el tipo de luminaria o lámpara a utilizar en el alumbrado público. Pero, a pesar de éstas medidas, son pocos los proyectos de alumbrado en los que se hace una mención explícita a la problemática incluyendo un análisis desde una perspectiva general: cuantificando las repercusiones globales y la influencia de la arquitectura del entorno pese a existir normativa e informes técnicos realizados por estamentos oficiales desde finales del siglo pasado (CIE, 1997 y 2003).

Dentro de los factores que influyen en la contaminación lumínica, nos encontramos con uno poco estudiado, por su complejidad y por su carácter aleatorio: la luz doméstica y de oficinas procedente de las ventanas de los edificios. Esta emisión de luz contaminante en su mayoría en direcciones casi horizontales depende de las costumbres y hábitos del usuario de la vivienda o de la oficina y por ello, su análisis resulta complejo. Este será el objeto de esta investigación.

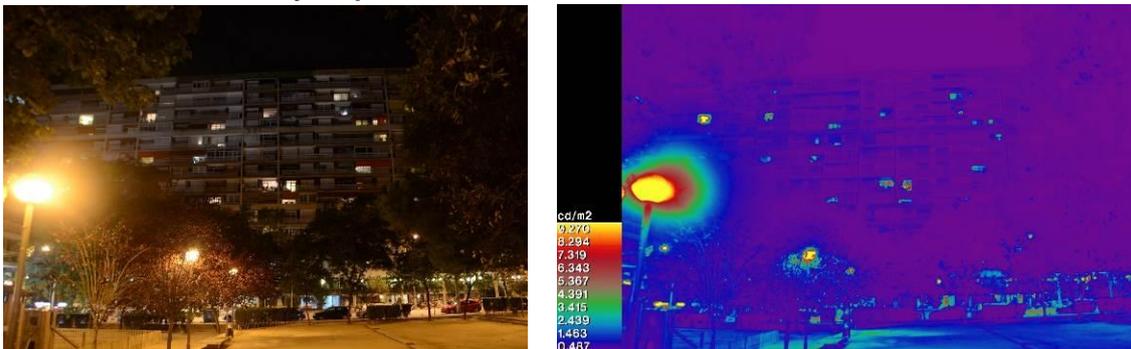
2. La luz privada doméstica como fuente de contaminación

Cuando se observa una gran ciudad desde lejos, la imagen que queda grabada en la retina no es la luz de las luminarias públicas si no la gran cantidad de rectángulos iluminados que resaltan sobre las edificaciones. Si se tiene en cuenta que probablemente se esté observando la ciudad a varios kilómetros de distancia, entonces se puede comprender que el problema de la luz privada doméstica merece convertirse en un punto de atención.

Si paseamos por la ciudad veremos que éstos pequeños focos contaminantes, permanecen encendidos en mayor o menor medida por toda la ciudad, en la Figura 1 podemos ver la intensidad lumínica producida por las ventanas encendidas de un edificio de viviendas, si nos paramos a analizarlo podremos ver que la emisión de flujo lumínico es significativa.

Se propone entonces el análisis de las fuentes de luz doméstica y su impacto en el conjunto de la contaminación lumínica.

Figura 1. Fotografía de un edificio de viviendas en el barrio de Les Corts y mapa de luminancias de la zona analizada



Fuente: Elaboración propia. Análisis realizado en un software en página web (Jacobs, 2011).

3. Metodología de análisis y trabajo de campo

Para el estudio de la contaminación de las fuentes de luz doméstica se plantea como ejemplo el análisis de un área concreta de la ciudad de *Barcelona*, España. Se toma como referencia el barrio de *Les Corts* con una extensión de unas 136,6 Ha. En la Figura 2 podemos ver la extensión del barrio.

El barrio corresponde a la zona más central y antigua del municipio de Les Corts, agregado a Barcelona en 1897. Presenta un paisaje urbano bastante heterogéneo, con combinación de edificaciones que provienen de las primeras urbanizaciones ochocentistas y novocentistas, junto con otras de nueva construcción.

El barrio de Les Corts tiene aproximadamente 22.983 viviendas con 46.135 habitantes, unos 2 habitantes por vivienda. Además abarca un total de 77 calles (AJUNTAMENT DE BARCELONA, 2015).

Pese a no ser un barrio con una altísima actividad comercial, tiene una importante actividad a nivel de barrio, un centro comercial y varias calles con zonas representativas de ocio y cultura. Es considerado como una zona de actividad ciudadana, pero no de alta actividad comercial:

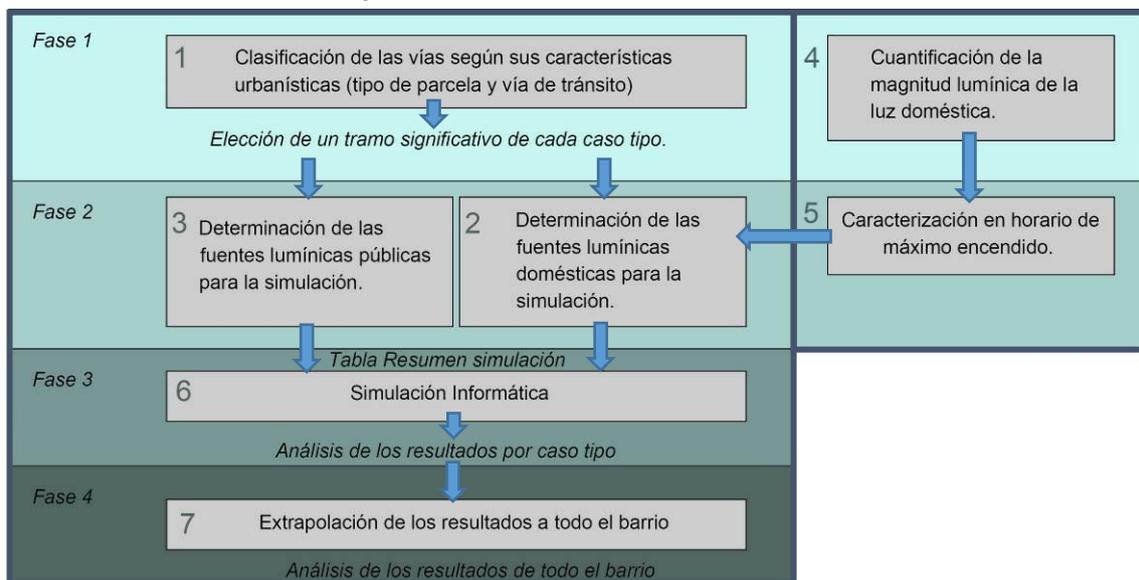
Figura 2. Imagen de satélite del barrio de Les Corts



Fuente: Google Earth (2012).

Para la evaluación de la zona de estudio se sigue el siguiente esquema de análisis (Tabla 1):

Tabla 1. Esquema de análisis evaluación zona de estudio



Fuente: Elaboración propia.

3.1 Clasificación de las vías según sus características urbanísticas (tipo de parcela y vía de tránsito)

Los edificios por su número de pisos se agrupan en: Altura baja (de 1 a 3 pisos), Altura media (de 4 a 7 pisos) y Altura elevada (de 8 a 12 pisos). Para el ancho de vía se establecen tres rangos: Estrecha (menor de 10 metros), Medio (de 10 a 23 metros) y Ancha (más de 23 metros). Para cubrir la totalidad del barrio se establecen un total de 20 casos tipo de tramos de calle (en la Figura 3 se puede ver la clasificación final del barrio): Los 17 primeros casos organizan la gran mayoría de las calles del barrio, según el ancho de la vía y la altura de las edificaciones; El caso número 18, se subdivide en tres casos, Caso 18A. La calle no presenta fuentes de luz doméstica en ninguna de sus dos aceras y por tanto la luz final será únicamente la aportada por la luz pública vial.; Caso 18B. A los dos lados de la calle existe una zona recreativa de parque o plaza; Caso 18C. Se trata de una calle en donde la luminaria tipo es singularmente diferente al resto de los tramos de calle del caso (luminaria tipo bola); Los casos tipo 19 son zonas del barrio donde la edificación aparece en parcelas de manera aislada.

Para analizar éstas zonas, se tiene en cuenta el tipo de área formada por el espacio exterior de las edificaciones, en total se establecen seis tipos singulares de áreas con edificación aislada; Por último el caso 20 será la calle de Diagonal, que tanto por su tipología edificatoria como por su geometría vial se considera un caso lo suficientemente singular como para su análisis de forma aislada. El tramo de referencia para la simulación será el tramo u (ver Figura 4).

La siguiente Tabla 2 muestra el resumen de los diferentes tipos de tramos de calle:

Tabla 2. Casos tipo del 1-18 para el análisis del barrio

Casos tipo	Ancho vía (m)	Nº de pisos fachada 1	Nº de pisos fachada 2	Nº de tramos	Ancho medio. Calle (m)	Metros lineales. Calle (m)	Tramo de Referencia para simulación
1	<10	1 a 3	1 a 3	24	7,3	1815,1	a
2	<10	4 a 7	4 a 7	31	7,6	2313,5	b
3	10 a 23	4 a 7	4 a 7	23	15,3	1915,6	c
4	23 a 50	4 a 7	4 a 7	5	26,3	473,5	d
5	<10	8 a 12	8 a 12	5	7,5	323,0	e
6	10 a 23	8 a 12	8 a 12	31	17,7	2922,6	f
7	23 a 50	8 a 12	8 a 12	33	29,2	2825,6	g
8		Parque	1 a 3	11	13,0	667,4	h
9		Parque	4 a 7	19	18,3	1053,1	i
10		Parque	8 a 12	39	17,6	3380,3	j
11	<10	1 a 3	4 a 7	8	7,1	669,1	k
12	10 a 50	Sin luz	4 a 7	6	19,8	474,4	l
13	10 a 50	1 a 7	8 a 12	18	21,4	1657,0	m
14	<10	1 a 7	8 a 12	2	9,4	190,3	n
15	10 a 23	1 a 3	4 a 7	1	13,4	112,8	o
16	10 a 23	Sin luz	1 a 3	2	16,9	180,3	p
17	10 a 23	Sin luz	8 a 12	1	15,0	139,3	q
18A		Sin luz	Sin luz	15	26,7	1575,5	r
18B		Sin luz	Sin luz	3	30,0	295,5	s
18C		Sin luz	Sin luz	2	12,8	269,2	t

Fuente: Elaboración propia.

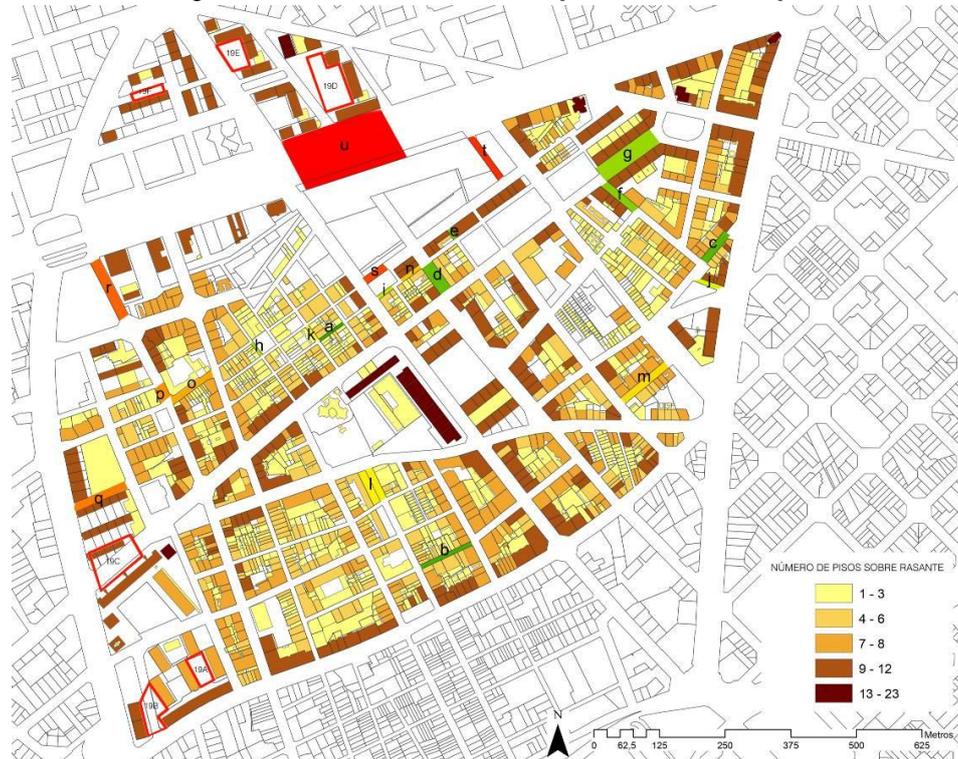
Figura 3. Clasificación del barrio según los casos tipo

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Determinación de las fuentes lumínicas domésticas para la simulación

Para establecer las fuentes de luz doméstica (las ventanas de las viviendas que configuran cada caso tipo), se tomará como referencia un tramo significativo de cada uno de los casos a analizar y se calculará el porcentaje real de acristalamiento de ese tramo, con este porcentaje se determinará el área de las fuentes de luz y el número total de las mismas.

Figura 4. Tramos de referencia para cada caso tipo



Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, en el caso tipo 2, se escoge para establecer el acristalamiento el tramo b de la Calle Caballero con una longitud de 120,9 m. y 8,5 m. de ancho. En la Figura 5 se puede ver una fotografía del tramo ejemplo escogido.

Figura 5. Calle Caballero



Fuente: Elaboración propia.

Se calcula, para este tramo, la relación de llenos y vacíos existente en la totalidad de las fachadas obteniendo el porcentaje total de acristalamiento del caso (Ver Tabla 3).

Tabla 3. **Acristalamiento Calle Caballero**

Tramo	M ² fachada	M ² cristal	% acrist.
T07471D	3369,23	655,79	19,46

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje total de acristalamiento del tramo de calle es de 19,46%, si se tiene una superficie de fachada de 16,5 m. de altura por 50 m de largo (825 m²), se obtiene que la superficie total de luz doméstica para el caso tipo 2 será de unos 160,6 m² para cada uno de los lados de la calle tipo.

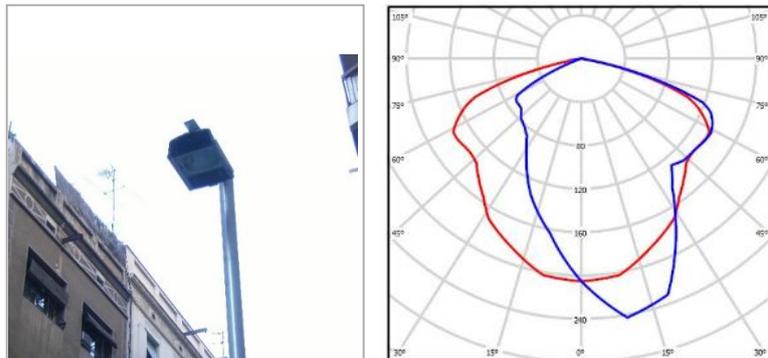
Para cubrir estos 160,6 m² se utilizarán un total de 152 ventanas de medidas: 1 x 2,113 m² situadas de forma uniforme en el área de fachada, 76 por cada uno de los lados de la calle.

3.3 Determinación de las fuentes lumínicas públicas para la simulación

Para establecer las fuentes de luz públicas se toma el mismo tramo de referencia que para establecer las fuentes de luz doméstica y se simulan según el caso.

Por ejemplo, en el caso tipo 2, se utiliza la siguiente luminaria (Figura 6) con este tipo de fotometría.

Figura 6. **Fotografía de la luminaria y su fotometría para la Calle Caballero**



Fuente: Elaboración propia a partir del software de diseño lumínico Dialux.

En éste caso las luminarias se sitúan a un solo lado de la vía, con una separación de 15 metros entre ellas, una altura de montaje de 4,5 metros y una separación con respecto a la línea de fachada de los edificios colindantes de 1,85 metros.

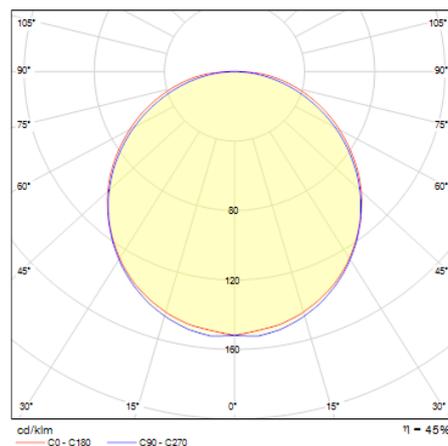
3.4 Cuantificación de la magnitud lumínica de la luz doméstica

Para determinar el flujo lumínico de cada una de las fuentes de luz doméstica del caso tipo, se realizan una serie de medidas en una ventana tipo, se tomará preferiblemente una ventana significativa de la zona a analizar, situada a baja altura, a la que se pueda acceder por el interior y preferiblemente con al menos dos tipos diferentes de protección para el hueco, por ejemplo una cortina y una persiana.

Para la realización de las medidas se dividirá el plano de la ventana mediante una rejilla virtual de al menos 6 puntos. Desde un punto suficientemente alejado de la fuente se medirá la luminancia en cada uno de estos puntos de la rejilla y después se hará la media aritmética obteniendo la L_{media} . Se repetirá el proceso tantas veces como sea necesario, sin protección, con cortina, con persiana...etc. De esta forma conseguiremos convertir una fuente puntual de luz en un plano con una distribución lumínica homogénea que se corresponderá con la geometría de las ventanas que luego se simularán.

Para la modelización y simulación de las fuentes de luz doméstica se utiliza como modelo una luminaria fluorescente con cerramiento opal que genera una distribución lumínica prácticamente Lambertiana (Garcia Gil, 2001), tal como se muestra en la fotometría, ver Figura 7.

Figura 7. Fotometría de luminaria fluorescente con cerramiento opal



Fuente: Elaboración propia a partir del software de diseño lumínico Dialux.

Para el cálculo del flujo lumínico se utilizara la siguiente fórmula:

$$\phi = L_{MEDIA} \cdot \pi \cdot S$$

La L_{media} se toma de las medidas realizadas anteriormente y la S será la superficie del hueco de ventana del caso tipo

En el caso de nuestro análisis se analiza una balconera (ver Figura 8) situada en un primer piso con tres tipos diferentes de protecciones: una contraventana exterior tipo veneciana con lamas regulables, una cortina blanca semitransparente y una cortina negra casi opaca.

Figura 8. Fotografía de la balconera

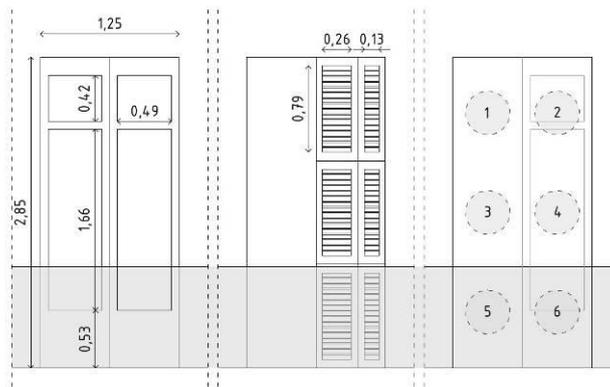


Fuente: Fotografías propias.

La luminaria dentro de la estancia donde se sitúa la balconera, es una luminaria colgante, situada a 2,13 metros del suelo y a 1,83 metros de distancia de la balconera. La luminaria tiene forma de campana de material translúcido y direcciona el flujo de luz principal hacia el suelo.

La balconera tiene un área de 3,56 m² con un área acristalada de 2,04 m², el vidrio es sencillo de 6 mm de espesor, la carpintería es de madera al igual que la contraventana exterior tipo veneciana. Se utiliza una rejilla de 6 puntos situados según se puede observar en la Figura 9.

Figura 9. Medidas de la balconera



Fuente: Elaboración propia

Para las mediciones se utiliza el luminancímetro de la marca Gossen, modelo Mavo-Spot 2, y también se utiliza una cámara NIKON modelo D3100. La primera medición con la balconera totalmente abierta y se repite la operación dos veces más, con las puertas acristaladas y persianas venecianas cerradas y con las puertas acristaladas y la cortina blanca. Para cada uno de los casos se obtiene por media aritmética la luminancia media de la balconera. Los datos obtenidos se resumen en la Tabla 4:

Tabla 4. Resultados de la medición

Puntos	Abierta	Persiana	Cortina Blanca
1	15,63	3,15	5,1
2	14,63	4,61	4,72
3	569	135,3	30,21
4	13,85	1,42	3,11
5	55,5	2,19	6,93
6	9,69	1,32	5,42
L_{media}	113,1	24,7	9,2

Fuente: Elaboración propia

Por el ángulo en el que fueron tomados los datos y la situación de la luminaria se observa una concentración de la luminancia sobre el punto 3, debido a la emisión más cercana de los puntos de luz del interior de la vivienda, pero que es efectivamente real. Este caso podría bien ocurrir también en sentido contrario, cuando la emisión fuera hacia el hemisferio superior, en el caso de iluminación indirecta dentro de la vivienda. En el caso de un análisis detallado se deberían realizar mediciones en diferentes direcciones, y considerando y anotando la forma de afectación de la emisión directa de la fuente de luz del interior de los edificios.

Con el mallado de la balconera se consigue que el foco puntual se convierta en un plano lumínico.

Como ejemplo, en el caso tipo 2 con un área de ventana de 2,113 m², el flujo luminoso total será de 750 lm considerando la ventana abierta.

$$\Phi = 113,1 \text{ cd/m}^2 * (1 * 2,113) * \pi = 750 \text{ lm}$$

Para el caso de la persiana el flujo luminoso total será de 164 lm y para el caso de la cortina de 61 lm.

3.5 Caracterización en horario de máximo encendido

En esta fase se analiza el comportamiento de los usuarios de las viviendas, en relación con la hora de encendido del alumbrado y la utilización de protecciones o no en los huecos. En esta fase se obtendrán unos patrones de referencia del comportamiento de los usuarios de las viviendas con mayor precisión cuanto menor sea el área de análisis.

Se realiza un trabajo de campo en el cual se rellenan una serie de fichas tipo para varios edificios de la zona a analizar, en estas fichas se señala el número total de ventanas encendidas y éstas se clasifican en tres: sin protección, con protección media y con protección baja. Este proceso se repite para diferentes tramos horarios y diferentes días de la semana.

Para el barrio de Les Corts se analiza el encendido de un total de ocho fachadas a diferentes tramos horarios y días de la semana. Para la simulación se toma el periodo horario comprendido entre las 21:00 y las 00:00 horas, en días laborables y se establece que durante el período de realización del trabajo de observación entre Julio, Agosto de 2014 el porcentaje de ventanas encendidas en este tramo horario es de un 13,2% y los porcentajes en relación con las protecciones de la ventana, considerando persiana o cortina cerradas se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de utilización de las protecciones

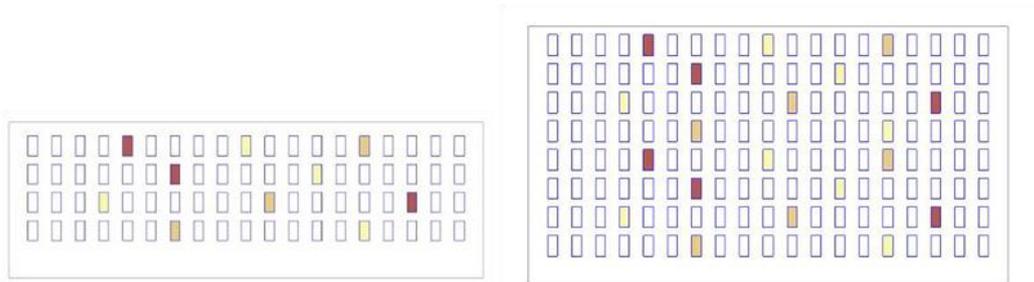
HORARIO 21-00 horas	%
ABIERTA	4,85
CON PERSIANA	4,26
CON CORTINA	4,13
TOTAL VENTANAS ENCENDIDAS	13,2

Fuente: Elaboración propia.

En el caso tipo 2, de las 152 ventanas, se encenderán un 13,2 %, esto equivale a un total de 20 ventanas encendidas, 10 a cada lado de calle. De éstas últimas 10 ventanas, obtendremos un total de cuatro ventanas abiertas, tres ventanas con persiana y tres con cortina.

Para la distribución de ventanas encendidas en las fachadas modelizadas se conoce la relación directa de la altura en fachada con mayor cantidad de EFS, por lo que se pensó en buscar patrones de referencia. Pero al ser casos aplicables a diferentes tipos de calle y no depender de un solo tipo de usuario ni de un bloque de viviendas específico, el análisis se desechó y se optó por una distribución aleatoria más o menos uniforme e igual para todos los casos tipo, según la altura del caso fuera de 6 m, de 16,5 m o de 27 m (ver Figura 10).

Figura 10. Distribución por esquema de color de las ventanas encendidas y el tipo de protección



Nota: Esquema de colores: Rojo: Ventana con cortina; Amarillo: Ventana abierta; Naranja: Ventana con persiana.
Fuente: Elaboración propia.

3.6 Simulación informática

La simulación de los casos tipo se realiza mediante el programa DIALUX, un software gratuito para proyectos de iluminación.

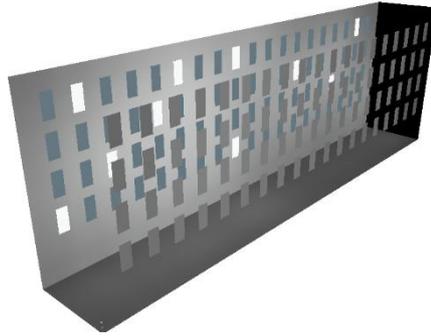
El método utilizado para el análisis de la contaminación lumínica será el desarrollado en la UPC, la metodología RAMA-L (Ratio y Análisis Medio Ambiental - Lumínico) que tiene como objetivo cuantificar la magnitud del foco contaminante en la repercusión del resplandor luminoso y proporcionar herramientas para introducir los cambios necesarios que permitan reducir los efectos perniciosos (García, 2009).

El modelo parte de la consideración del flujo emitido por el alumbrado, la geometría de la zona de implantación y las reflexiones de pavimentos y fachadas. El planteamiento es esquemático y pueden incluirse cualquier punto de luz, el tratamiento informático utiliza programas informáticos estándares en módulos de cálculo interior para poder determinar las reflexiones. Para el análisis de una calle se establecerán tanto el techo del local interior como las paredes de sus extremos con una reflexión de 0%, para que el programa obvie esas superficies y simular de ésta forma los espacios abiertos.

Para el caso tipo 2, se modela un local interior con las siguientes medidas: Con el ancho medio de todos los tramos del caso 4 (ver tabla primera): 7,6 m.; Con la altura media del caso tipo a los dos lados de la acera: 16,5 m.; y Por último se utiliza un largo de tramo estándar para todos los casos de 50 m. Para cada una de las superficies del local se aplican los siguientes grados de reflexión: 0% para el techo y para las paredes extremas de la calle; 50% para las paredes; 27% para el suelo.

El suelo se considera de un gris medio, tipo cemento y para las paredes se toma la media estándar de reflexión de este tipo de paramentos (ver Figura 11).

Figura 11. Modelo informático del caso tipo 2 realizado con el software de Dialux



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente Tabla 6 se resumen los datos utilizados en cada caso tipo para su simulación con DIALUX.

Tabla 6. Resumen de los datos para la simulación

Caso tipo	Ancho Calle (m)	Altura Fachada 1 (m)	Altura Fachada 2 (m)	Area simulada (m2)	M ² de luz doméstica	Nº luminarias públicas	Potencia luminarias públicas
1	7,3	6	6	365	9,85	3	70 W
2	7,6	16,5	16,5	380	42,26	4	70 W
3	15,3	16,5	16,5	765	56,45	4	80 W
4	26,3	16,5	16,5	1315	55,02	6	118 W
5	7,5	27	27	375	87,00	3	70 W
6	17,7	27	27	885	97,44	5	70 W
7	29,2	27	27	1460	119,35	5/2/5	70/70/118 W
8	13,0	6	0	650	4,46	3	70 W
9	18,3	16,5	0	915	27,91	3	70 W
10	17,6	27	0	880	47,44	5	114 W
11	7,1	6	16,5	355	21,18	3	70 W
12	19,8	16,5	6	990	50,22	3/8	114/70 W
13	21,4	27	16,5	1070	79,48	3	118 W
14	9,4	27	16,5	470	82,45	4	70 W
15	13,4	6	16,5	670	39,86	5	114 W
16	16,9	6	6	845	16,42	4	118 W
17	15,0	27	6	750	34,18	1/2	70/118 W
18A	26,7	16,5	6	1335	0	3	118 W
18B	30,0	0	0	1500	0	5/3	70/118 W
18C	12,8	30-12	30-12	640	0	3	80 W
19A	Geometría real			2416	182,19	10	114 W
19B	Geometría real			3159	210,90	2/7	114/168 W
19C	Geometría real			6576	299,24	6	168 W
19D	Geometría real			3801	174,69	2	70 W
19E	Geometría real			2097	149,87	16	70 W
19F	Geometría real			1824	118,12	5	118 W
20	Geometría real			29470	165,18	18/15/13/27/12	169/70/112/70/14 W

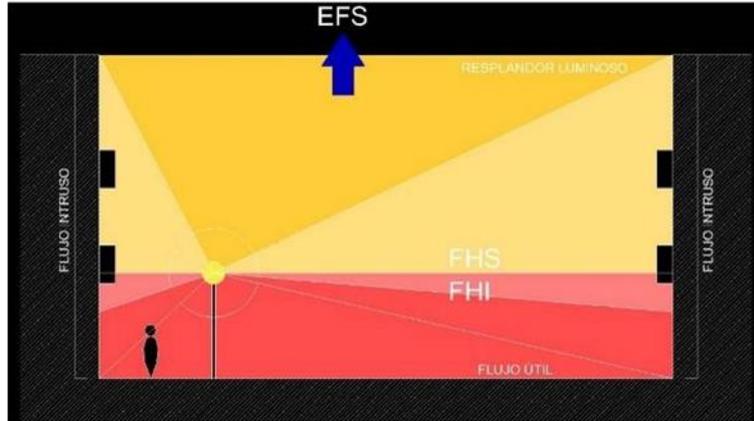
Fuente: Elaboración propia

3.7 Análisis de los resultados obtenidos

Para el análisis de los resultados se utiliza el parámetro de Emisión de Flujo Superior (EFS) que se define como “la cantidad de flujo lumínica que escapa de una instalación de alumbrado hacia el cielo” (San Martín et al, 2012: 83). Su unidad es el lumen y tiene en cuenta la luz emitida directamente por las luminarias hacia el cielo (FHSi), el flujo reflejado por el suelo u

otros elementos donde incida la luz y la disposición y geometría de la zona iluminada (ver Figura 12).

Figura 12. Gráfico EFS



Fuente: Elaboración propia a partir de (García et al, 2012) .

A continuación se presenta los datos obtenidos de EFS con respecto a la luz emitida por las fuentes domésticas, para cada uno de los casos. La primera columna corresponde al flujo total emitido por las fuentes en cada caso tipo, las siguientes presentan los flujos contaminantes, separando el FHSi (directo) y el flujo reflejado (indirecto).

Conociendo estos datos podemos establecer en la Tabla 7 los porcentajes de flujo lumínico contaminante con respecto al total emitido por las fuentes domésticas.

Tabla 7. Resumen EFS y % de luz directa e indirecta emitida por fuentes domésticas

Unid.: lum	Luz doméstica	Emisión de Flujo Superior (EFS)			% de Emisión Flujo Superior		
		Casos	Total emitido	Directo (lum)	Indirecto (lum)	Total (lum)	Directo (%)
1	1516	444	147	590	29,3	9,7	38,9
2	7350	1066	562	1628	14,5	7,6	22,1
3	9822	2121	751	2872	21,6	7,6	29,2
4	9574	2520	656	3176	26,3	6,9	33,2
5	15136	1372	826	2198	9,1	5,5	14,5
6	16960	2852	1042	3894	16,8	6,1	23,0
7	20776	4419	1138	5556	21,3	5,5	26,7
8	686	234	33	267	34,1	4,7	38,9
9	4855	1169	100	1270	24,1	2,1	26,1
10	8254	1393	71	1464	16,9	0,9	17,7
11	3602	423	60	483	11,7	1,7	13,4
12	8737	2168	297	2465	24,8	3,4	28,2
13	13840	2202	556	2757	15,9	4,0	19,9
14	14346	1354	310	1664	9,4	2,2	11,6
15	6569	1059	288	1347	16,1	4,4	20,5
16	2526	693	186	879	27,4	7,4	34,8
17	5948	900	60	960	15,1	1,0	16,1
18A	0	0	0	0	0	0	0
18B	0	0	0	0	0	0	0
18C	0	0	0	0	0	0	0
19A	34017	6355	1788	8143	18,7	5,3	23,9
19B	31679	5687	1295	6982	18,0	4,1	22,0
19C	48009	10718	2433	13151	22,3	5,1	27,4
19D	31511	6691	1102	7793	21,2	3,5	24,7
19E	26322	5577	944	6521	21,2	3,6	24,8
19F	31939	5216	1222	6437	16,3	3,8	20,2
20 (illa)	21806	5010	1474	6483	23,0	6,8	29,7

Fuente: Elaboración propia.

Como conclusión a las tablas anteriores, podemos decir que el porcentaje de contaminación lumínica producida por las fuentes de luz doméstica considerando un total de 13,2% de ventanas encendidas se encuentra en todos los casos por encima del 10% llegando casi al 40% del total emitido por las mismas. En su gran mayoría el aporte de EFS será directo, siendo mucho menor el lanzado de forma indirecta.

También se puede concluir que en los casos en que la altura de las fachadas es mayor con relación al ancho de la calle, el flujo lumínico hacia el hemisferio superior es menor que en el caso de fachadas bajas con grandes anchos de calle.

Para el caso de la luz pública obtendríamos según la Tabla 8 los siguientes datos y porcentajes de flujo lumínico contaminante con respecto al total emitido por las mismas.

Tabla 8. Resumen EFS y % de luz directa e indirecta emitida por fuentes públicas

Casos	Luz pública	Luz al hemisferio superior		% de Emisión Flujo Superior			
	Total emitido (lum)	Directo (lum)	Indirecto (lum)	Total (lum)	Directo (%)	Indirecto (%)	Total (%)
1	12435	224	1478	1701	1,8	11,9	13,7
2	16580	0	703	703	0,0	4,2	4,2
3	24480	8	1746	1754	0,0	7,1	7,2
4	54693	0	5880	5880	0,0	10,8	10,8
5	13556	0	298	298	0,0	2,2	2,2
6	22593	0	1183	1183	0,0	5,2	5,2
7	76461	0	5046	5046	0,0	6,6	6,6
8	13556	0	1964	1964	0,0	14,5	14,5
9	12435	0	1078	1078	0,0	8,7	8,7
10	30600	0	1173	1173	0,0	3,8	3,8
11	12435	0	363	363	0,0	2,9	2,9
12	49990	0	3920	3920	0,0	7,8	7,8
13	27346	0	1421	1421	0,0	5,2	5,2
14	16580	0	343	343	0,0	2,1	2,1
15	30600	7	1595	1601	0,0	5,2	5,2
16	36462	8	3777	3786	0,0	10,4	10,4
17	22376	0	848	848	0,0	3,8	3,8
18A	27346	0	2336	2336	0,0	8,5	8,5
18B	43927	0	3105	3105	0,0	7,1	7,1
18C	3294	0	64	64	0,0	1,9	1,9
19A	61200	0	4518	4518	0,0	7,4	7,4
19B	101691	0	7803	7803	0,0	7,7	7,7
19C	76672	0	7036	7036	0,0	9,2	9,2
19D	9323	76	874	950	0,8	9,4	10,2
19E	46355	1698	2474	4172	3,7	5,3	9,0
19F	45577	0	2298	2298	0,0	5,0	5,0
20 (illa)	611233	295	74855	75149	0,0	12,2	12,3

Fuente: Elaboración propia.

En este caso el flujo directo emitido por las luminarias públicas es nulo o casi nulo en casi todos los casos, ya que las luminarias instaladas en el barrio tienen un flujo hemisférico superior instalado (FHSi) nulo.

El porcentaje de flujo que se escapa hacia el hemisferio superior de las luminarias públicas está en la mayoría de los casos por debajo del 10% del flujo total emitido por las mismas y es aportado en gran medida de forma indirecta debido a las reflexiones producidas en las fachadas y suelos.

Emisión de Flujo Superior total para cada caso y la relación de porcentajes de Emisión de Flujo Superior total (luz doméstica y luz pública vial) para cada caso, Tabla 9:

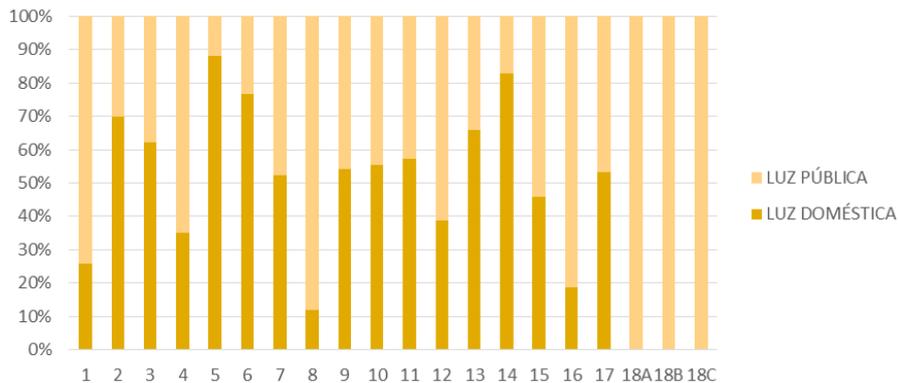
Tabla 9. Relación de porcentajes de EFS de luz doméstica y luz pública para cada caso

	Total emitido (lm)	Emitido Luz doméstica (%)	Emitido Luz pública (%)	Total contaminante EFS (lm)	EFS DIR. (%)	EFS IND. (%)	Doméstica EFS (%)	Público EFS (%)	TOTAL EFS (%)
1	13951	10,9	89,1	2292	4,8	11,6	4,2	12,2	16,4
2	23930	30,7	69,3	2331	4,5	5,3	6,8	2,9	9,7
3	34302	28,6	71,4	4626	6,2	7,3	8,4	5,1	13,5
4	64267	14,9	85,1	9056	3,9	10,2	4,9	9,1	14,1
5	28692	52,8	47,2	2496	4,8	3,9	7,7	1,0	8,7
6	39553	42,9	57,1	5077	7,2	5,6	9,8	3,0	12,8
7	97237	21,4	78,6	10602	4,5	6,4	5,7	5,2	10,9
8	14242	4,8	95,2	2231	1,6	14,0	1,9	13,8	15,7
9	17290	28,1	71,9	2347	6,8	6,8	7,3	6,2	13,6
10	38854	21,2	78,8	2637	3,6	3,2	3,8	3,0	6,8
11	16037	22,5	77,5	846	2,6	2,6	3,0	2,3	5,3
12	58727	14,9	85,1	6386	3,7	7,2	4,2	6,7	10,9
13	41186	33,6	66,4	4179	5,3	4,8	6,7	3,5	10,1
14	30926	46,4	53,6	2007	4,4	2,1	5,4	1,1	6,5
15	37169	17,7	82,3	2948	2,9	5,1	3,6	4,3	7,9
16	38988	6,5	93,5	4664	1,8	10,2	2,3	9,7	12,0
17	28324	21,0	79,0	1808	3,2	3,2	3,4	3,0	6,4
18A	27346	0,0	100,0	2336	0,0	8,5	0,0	8,5	8,5
18B	43927	0,0	100,0	3105	0,0	7,1	0,0	7,1	7,1
18C	3294	0,0	100,0	64	0,0	1,9	0,0	1,9	1,9
19A	95217	35,7	64,3	12661	6,7	6,6	8,6	4,7	13,3
19B	133370	23,8	76,2	14785	4,3	6,8	5,2	5,9	11,1
19C	124681	38,5	61,5	20187	8,6	7,6	10,5	5,6	16,2
19D	40834	77,2	22,8	8744	16,6	4,8	19,1	2,3	21,4
19E	72677	36,2	63,8	10693	10,0	4,7	9,0	5,7	14,7
19F	77516	41,2	58,8	8735	6,7	4,5	8,3	3,0	11,3
20 (illa)	633039	3,4	96,6	81633	0,8	12,1	1,0	11,9	12,9

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar el porcentaje de emisión de flujo contaminante por parte de la luz doméstica en muchos casos supera el porcentaje de flujo contaminante de las luminarias públicas.

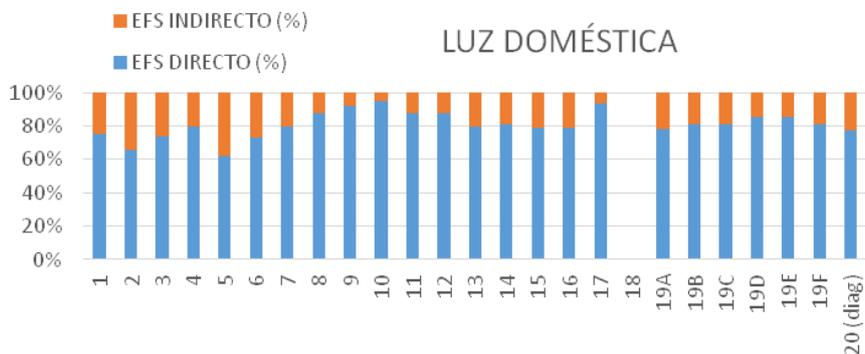
Figura 13. Relación porcentual entre la luz pública y la doméstica para cada tipo de caso



Fuente: Elaboración propia.

Este efecto final de mayor contribución de las fuentes de luz doméstica a la contaminación lumínica se debe a que el barrio de Les Corts tiene instaladas en todas sus calles luminarias públicas que controlan la Emisión de Flujo Superior, en cambio las fuentes de luz doméstica no presentan ningún control de flujo y en su mayor parte emiten luz contaminante de forma directa.

Figura 14. Emisión de Flujo Superior (%) directo e indirecto de luz doméstica



Fuente: Elaboración propia.

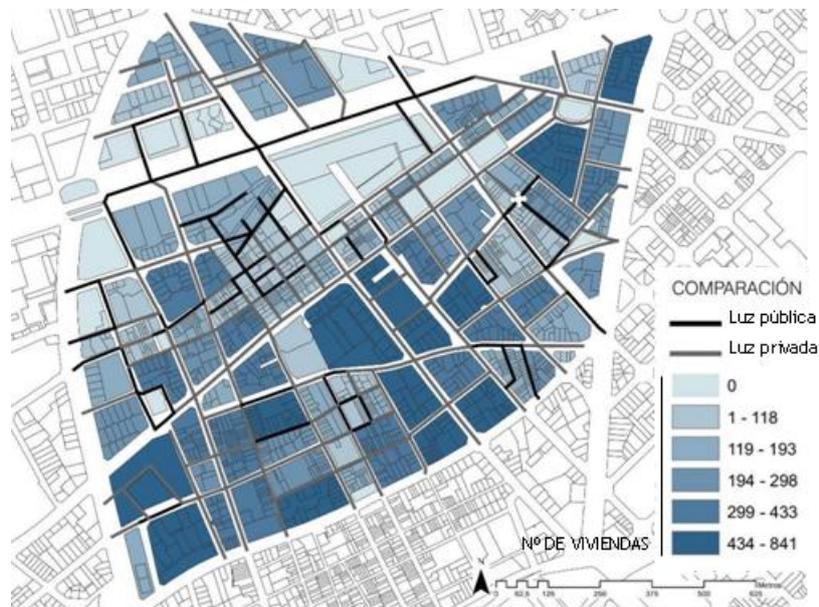
En la figura 14 se puede observar la aportación de la emisión directa en el caso de luz proveniente de fuentes domésticas. La proporción es significativamente mayoritaria.

4. Cálculo de la totalidad del barrio

A continuación se calcula el flujo emitido por la totalidad del barrio, relacionando los datos de cada caso con la clasificación de calles por casos realizada al inicio del proceso. El método de extensión a la totalidad el barrio será en función de la longitud de la vía. Es decir, a una calle de

mismas características que las analizadas en los casos tipos del apartado anterior, se le asignará una estimación de características resultantes proporcionalmente a su longitud.

Figura 15. **Comparación de calles con mayor % de contaminación por fuentes públicas o domésticas y número de viviendas en cada manzana**



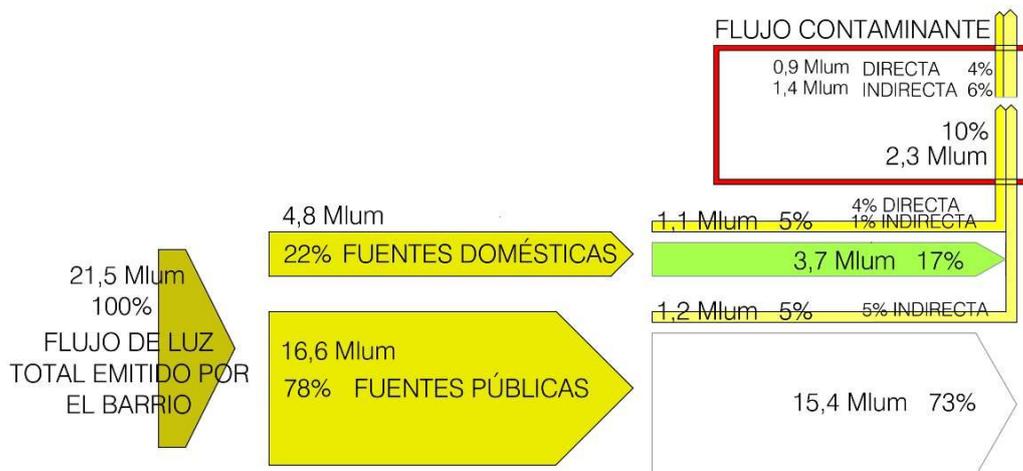
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15 se puede observar una clasificación de la totalidad de las calles del barrio en dos colores las calles: en negro las que tienen mayor % de contaminación de luz pública y en gris las de mayor % de luz privada, cada manzana del barrio se clasifica según el número de viviendas.

Se obtiene que el total de flujo emitido hacia el hemisferio superior del barrio es de 2,3 Mlum, un 10% del total del flujo emitido por el barrio, 21,5 Mlm. De éste 10%, un 5% pertenece a fuentes públicas y el otro 5% a fuentes privadas. Éste dato resulta muy significativo si lo comparamos con la totalidad del flujo emitido en la que un 78% del flujo total es emitido por fuentes públicas y tan sólo un 22% del flujo es emitido por las fuentes domésticas.

El siguiente gráfico (Figura 16) se corresponde con la hipótesis de partida en la que un 13,2% de las ventanas se encuentran encendidas, correspondiente al trabajo de campo realizado entre las 21:00 y las 00:00.

Figura 16. Gráfico de flujo lumínico total de Les Corts con un 13,2% de ventanas encendidas



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente Tabla 10 se puede observar el resumen de la hipótesis anteriormente representada.

Tabla 10. Resumen de la hipótesis de 13,2% de ventanas encendidas

% de ventanas encendidas	Flujo TOTAL EMITIDO	Flujo FUENTES DOMÉSTICAS		Flujo FUENTES PÚBLICAS	
		TOTAL % del emitido	EFS % del emitido	TOTAL % del emitido	EFS % del emitido
13,2 %	21,5 Mlm	4,8 Mlm	1,1 Mlm	16,6 Mlm	1,2 Mlm
	100%	22%	5%	78%	5%

Fuente: Elaboración propia.

5. Debate

El presente trabajo presenta una comparación de dos tipologías de fuentes contaminantes: la iluminación de viales (conocida como alumbrado público), y la iluminación de ventanas (conocida como alumbrado doméstico). Su comparación se centra entre los lúmenes que se emiten al cielo. El tratamiento de los datos se ha centrado en el trabajo de campo y la evaluación de un caso concreto: El barrio de Les Corts en Barcelona. En su trabajo se han realizado una serie de consideraciones para poder extraer resultados.

El modelo de calle utilizado se ha simplificado acorde con las posibilidades reales de estudio. Los resultados finales son cantidades relativas a las que en el caso real les pueden afectar factores como la geometría de la edificación (balcones o voladizos) o de las calles (existencia

de arbolado). En todo caso, los resultados obtenidos pueden ser considerados para realizar una comparación relativa entre diferentes tipos de fuentes de luz.

La emisión fotométrica de las fuentes contaminantes domésticas se han considerado lambertianas. Esta aproximación ha sido realizada según trabajos anteriores, normativas y recomendaciones de entidades oficiales, relacionadas con las emisiones de carteles luminosos, escaparates, etc. Pese a ello, la emisión de cada apertura es diferente, y puede representar una fotometría u otra. Sería interesante realizar una investigación para determinar la fotometría de este tipo de aperturas en función de sus características intrínsecas. A pesar de ello, las proporciones entre alumbrado público y doméstico, se conservarán en orden de magnitud de las características mostradas, puesto que los flujos instalados, las fotometrías de alumbrado vial y la salida de doméstico han sido medidos y caracterizados para este caso concreto.

El factor de dimensión de foto contaminante incluye no sólo la cantidad de lúmenes contaminantes, sino también su espectro de emisión (Kocifaj, 2013; Luginbuhl et al, 2013; Rea y Bierman, 2015; Sanchez-de-Miguel, 2015). Debido al espectro de la luz doméstica, su aportación al resplandor luminoso es superior que al de lámparas de vapor de sodio a alta presión, que son las estipuladas principalmente en las instalaciones analizadas. Esto puede generar una mayor aportación real del factor contaminante de las fuentes domésticas respecto al vial.

Igual que existen formas de reducir el FHSi para luminarias viales, sería interesante para un futuro la búsqueda de posibles soluciones desde el nivel de proyecto de arquitectura. Las protecciones solares y de aislamiento nocturno móviles se consideran una solución sencilla al problema; cómo se ha comprobado en las mediciones realizadas en una balconera del barrio de Les Corts una simple protección de tela casi opaca reduce el flujo lumínico saliente de un foco de luz doméstica en un 95%. En contraposición estas soluciones móviles tienen el problema de que dependen del usuario de la vivienda y en las noches de verano, con el calor, las protecciones de los huecos de fachada no se utilizan y el flujo lumínico se escapa en su totalidad. Se plantea entonces como idea para futuros análisis, la instalación de soluciones fijas, por ejemplo aleros y antepechos, que ayuden a reducir el flujo contaminante.

Actualmente existen formas y poder modelizar la cantidad y la forma de flujo contaminante de la ciudad (Garstang, 1991; Luginbuhl et al, 2009; Luginbuhl et al, 2009; Estrada-García et al, 2015). Pero suele ser referido a factores muy globales y exclusivamente alumbrado público. Sería interesante poder desarrollar una metodología de determinación de flujo contaminante en función de su fuente, en este caso, considerar específicamente el alumbrado doméstico o privado. Debido a su dimensión, puede ser determinante en ciudades o zonas con proporciones de las características mostradas.

6. Conclusión

La mayoría de los esfuerzos sobre la contaminación lumínica en la ciudad, desde su definición en los años setenta, se han centrado en las luminarias del alumbrado público que recorren las calles de las ciudades.

En el caso analizado, en el barrio de Les Corts de Barcelona, con tan sólo un 13,2% de unidades de luz privada encendidas (ventanas) se ha comprobado que para el barrio se obtiene que del EFS total (2,3 Mlm) un 5% pertenece a fuentes públicas y el otro 5% a fuentes privadas. Dato muy significativo si lo comparamos con la totalidad del flujo emitido en la que un 78% del flujo instalado total pertenece a fuentes públicas y tan sólo un 22% del flujo a las fuentes domésticas.

Llegados a este punto se considera necesario centrar nuevos esfuerzos en otros posibles focos de contaminación, en éste caso las fuentes de luz doméstica, que pese a tener aparentemente una aportación pequeña, se convierte en muy importante (tanto como el alumbrado público), cuando el resto de fuentes de iluminación están optimizadas. Es especialmente importante en grandes metrópolis, donde la aglomeración de persona hace que el alumbrado objeto del artículo sea de magnitud considerable.

Las características intrínsecas de este tipo de iluminación lo hacen potencialmente dañino: Su espectro de emisión se distribuye por todo el visible, con lo que al disponer de radiaciones en la parte de los azules, también es en porción relativa más contaminante que el amarillo (Luginbuhl et al, 2013); su fotometría suele ser de FHSi elevada y requiere elementos correctores en situaciones de sensibilidad del entorno; su gestión es muy difícil por ser competencia de gestión directa privada, y de muy lenta evolución, por lo que su minimización es lenta y compleja.

Finalmente concluir remarcando que con este trabajo se pone de manifiesto que la contribución de las fuentes de luz doméstica (ventanas encendidas) a la contaminación lumínica, con respecto a un alumbrado público eficiente, es suficientemente alta como para plantear posibles mejoras y soluciones que ayuden a mantener nuestros cielos limpios.

Bibliografía

AJUNTAMENT DE BARCELONA. *CARTO BCN* [en línea] Fecha de consulta: 18 de marzo de 2015. Disponible en: <<http://w20.bcn.cat/cartobcn/default.aspx?lang=es>>. 2015.

AJUNTAMENT DE BARCELONA. *Guías estadísticas. Les Corts en xifres 2013* [en línea] Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2014. Disponible en: <<http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/guiadt04/pob04/t2.htm>>. 2015.

BARA, S. *Light pollution and solid-state lighting: reducing the carbon dioxide footprint is not enough*. En: SPIE Proceedings, 8785 (1), 2013.

CIE. 126-1997 *Guidelines for minimizing sky glow*. Vienna, Commission Internationale de l'Éclairage, 1997. 20 p.

CIE. 150-2003. *Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations*. Viena, Commission Internationale de l'Éclairage, 2003. 43 p.

DARKSKY. *What is Light Pollution. FAQ* [en línea] Fecha de consulta: 27 de enero de 2015. Disponible en: <<http://www.darksky.org/about-ida/faqs#6>>. 2015.

DIAL. (2015). *Software Dialux* [en línea] Fecha de consulta: 27 de enero de 2015. Disponible en: <<http://www.dial.de/DIAL/es/dialux/browse/12.html>>. 2015.

ESTRADA, R.; GARCÍA, M.; ACOSTA, L.; BARÁ, S.; SANCHEZ, A. y ZAMORANO, J. *Statistical modelling and satellite monitoring of upward light from public lighting* [en línea] En: Lighting Research and Technology, 2015. Disponible en: <<http://lrt.sagepub.com/content/early/2015/04/21/1477153515583181.abstract>>.

GARCIA, M. *Metodología ramal-UPC para analisis cuantitativo de la contaminacion luminica*. XXXV Simposium del Comité Español de Iluminación (XXXV, Pontevedra, 2009). CEI, Pontevedra, 2009, pp: s/p

GARCIA, M. *Estudio de la contaminación lumínica mediante medición de casos reales y simulaciones informáticas*. En: XXVII Simposium Nacional de Alumbrado (Pontferrada, 2001) CEI, Pontferrada, 2001, pp: s/p.

GARCIA, M.; SAN MARTIN, R. y SOLANO, H.S. *Contaminación lumínica. Una visión desde el foco contaminante: El alumbrado artificial*. Barcelona, Iniciativa Digital Politécnica, 2012. 155 p.

GARSTANG, R. H. *Light Pollution Modeling*. En: Radio Interference, and Space Debris (17th ASP Conference Series, Washington) 1991.

GENCAT. *Geoinformació. Protecció envers la contaminació lluminosa* [en línea] Fecha de consulta: 2 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://sima.gencat.cat/Visors/PCL/Inici.html>>. 2014.

GENCAT. *Projecte de Decret de desenvolupament de la Llei 6/2001* [en línea] Fecha de consulta: 10 de octubre de 2014. Disponible en: <http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_lluminosa/doc/projecte_de_decret.pdf>. 2014.

GENCAT. *Reglament que desenvolupa la llei 6/2001 d'ordenació del medi natural nocturn*. En: DOGC, 6: 12.291-12.296, 2005.

GENCAT. *Llei d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn*. En: DOGC, 8.682-8.685, 2001.

JACOBS, A. *WebHDR* [en línea] Fecha de consulta: 27 de gener de 2015. Disponible en: <<http://www.jaloxa.eu/webhdr/index.shtml>>. 2011.

KOCIFAJ, M. *Modeling the night-sky radiances and inversion of multi-angle and multi-spectral radiance data*. En: Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 139 (0): 35-42. 2013.

LUGINBUHL, C. B.; BOLEY, P.A. y DAVIS, D.R. *The impact of light source spectral power distribution on sky glow*. En: Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 139 (0): 21-26, 2013.

LUGINBUHL, C. B.; DURISCOE, D.M.; MOORE, C.W.; RICHMAN, A.; LOCKWOOD, G.W. y DAVIS, D.R. *From the Ground Up II: Sky Glow and Near-Ground Artificial Light Propagation in Flagstaff, Arizona*. En: Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 121 (876): 204-212. (2009).

LUGINBUHL, C. B.; LOCKWOOD, G.W.; DAVIS, D.R.; PICK, K. y SELDERS, J. *From The Ground Up I: Light Pollution Sources in Flagstaff, Arizona*. En: Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 121 (876): 185-203, 2009.

REA, M. y BIERMAN, A. *Spectral considerations for outdoor lighting: Consequences for sky glow*. En: Lighting Research and Technology, 47 (8): 920-930, 2015.

SANCHEZ, A. *Variación espacial, temporal y espectral de la contaminación lumínica y sus fuentes: Metodología y resultado* (Tesis Doctoral) Madrid, Universidad Complutense de Madrid, 2015. 238 p..

TREANOR, P. J. *A simple propagation law for artificial night-sky illumination*. En: The Observatory, 93: 117-120, 1973.

WALKER, M. F. *The effects of urban lighting on the brightness of the night sky*. En: The effects of urban lighting on the brightness of the night sky, 89: 405-409, 1977.

WALKER, M. F. *Identification and protection of existing and potential observatory sites*. En: Trans. Int. Astron. Union (Reports on Astronomy), 16A (1): 219-228, 1976.