

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Análisis geoespacial a partir de imágenes de teledetección



Máster en Tecnologías de la Información Geográfica, 19ª edición.

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

ICGC
Institut
Cartogràfic i Geològic
de Catalunya

màster en
geoinformació
aplicacions i gestió

Laura Ballester Mora

Julio 2017

RESUMEN

Este documento es la síntesis del proyecto final de la *19ª edición del Máster en Tecnologías de la Información Geográfica* donde se exponen los resultados del trabajo realizado en el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC).

La confección de los mapas de luminancia se lleva a cabo empleando la metodología desarrollada en el ICGC para cuantificar el flujo de luz con datos hiperespectrales y fotogramétricos aerotransportados, es decir, mediante técnicas de observación de la tierra por teledetección. Los mapas contribuyen como herramienta principal a detectar las emisiones reales de luz y estimar la energía desperdiciada, que se proyecta cenitalmente, provocada por los sistemas de alumbrado exterior.

La memoria tiene como objeto el estudio de la iluminación exterior urbana nocturna, analizándose, a través de magnitudes estadísticas, el comportamiento y la distribución de la luz en función de diferentes elementos geoespaciales; además se contemplan los efectos de la contaminación lumínica (exceso de luz) desde el punto de vista humano.

En este proyecto se demuestra el potencial del mapa de luminancias del suelo nocturno urbano como herramienta para que las entidades con competencia sobre la materia creen políticas de iluminación al aire libre que actúen contra el exceso de luz innecesario, aplicando modelos de eficiencia energética.

RESUM

Aquest document és la síntesis del projecte final de la *19ª edició del Máster en Tecnologies de la Informació Geogràfica* on s'exposa els resultats del treball realitzat a l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

La confecció dels mapes de luminància es du a terme emprant la metodologia desenvolupada en el ICGC per quantificar el flux de llum amb dades hiperespectrales i fotogramètriques aerotransportades, és a dir, mitjançant tècniques d'observació de la terra per teledetecció. Els mapes contribueixen com a eina principal a detectar les emissions reals de llum i estimar l'energia desaprofitada, que es projecta zenitalment, provocada pels sistemes d'enllumenat exterior.

La memòria té com a objecte l'estudi de la il·luminació exterior urbana nocturna, i s'hi analitza, a través de magnituds estadístiques, el comportament i la distribució de la llum en funció de diferents elements geoespaciales; a més, s'hi contempen els efectes de la contaminació lumínica (excés de llum) des del punt de vista humà.

En aquest projecte es demostra el potencial del mapa de luminàncies del sòl nocturn urbà com a eina per a que les entitats amb competència sobre la matèria creïn polítiques d'il·luminació a l'aire lliure que actuïn contra l'excés de llum innecessari, aplicant models d'eficiència energètica .

ABSTRACT

This document is the synthesis of the final project of the *19th edition of the Master in Geographic Information Technologies*. Results of the work carried out at the Cartographic and Geological Institute of Catalonia (ICGC) are hereby presented.

The luminance mapping is carried out using the methodology developed in the ICGC to quantify the light flux with airborne hyperspectral and photogrammetric data, this is, by remote sensing ground's observation techniques. The mapping is, then, the main tool to detect the actual emissions of light and to estimate the energy wasted, which is zenith projected, caused by the systems of external illumination.

The purpose of the report is to study the nocturnal urban illumination, by the analysis, through statistical magnitudes, of the behaviour and distribution of light in terms of different geospatial elements; it also takes into consideration the effects of light pollution (excess of light) from the human point of view.

This project demonstrates the potential of urban night ground's luminance mapping to be used by the competent authorities, to create outdoor lighting policies that act against the excess of unnecessary light, while applying models of energy efficiency.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y CONCEPTOS

candela/m² [cd/m²]	Unidad de medida de la luminancia en Sistema Internacional.
CEI	Comité Español de Iluminación Organismo afiliado en el C.I.E., implantado en España.
Celfosc	Asociación catalana contra la contaminación lumínica en España.
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage Máximo exponente de organización a nivel mundial que promueve normativa y organización en el ámbito del alumbrado y la iluminación.
CL	Contaminación Lumínica
Intensidad luminosa	Cantidad de luz emitida por unidad de tiempo en una única dirección. Unidad: cd
Luminancia	Relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Unidad: cd/m ²
PCL	Protección contra la Contaminación Lumínica.
UNE	Una Norma Española Los documentos normativos UNE son un conjunto de normas creadas por los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
Uniformidad global (U_o)	Coeficiente que indica la regularidad del nivel de la iluminación en una determinada zona.
VNIR	Parte del espectro visible e infrarrojo.

Índice

1 DIRECCIÓN DEL PROYECTO.....	7
1.1 COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN DEL PROYECTO.....	7
1.2 ALCANCE DEL PROYECTO	7
2 MARCO INSTITUCIONAL.....	7
3 OBJETIVO	8
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
4 INTRODUCCIÓN	9
5 ANTECEDENTES	10
6 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	11
6.1 CONCEPTO SOBRE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	11
6.1.1 LA LUZ.....	12
6.1.2 INTERACCIÓN DE LA LUZ CON LA MATERIA	14
6.2 DIFUSIÓN DE LA LUZ EN LA ATMÓSFERA	15
6.3 TIPOS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	16
7 MAPAS DE LUMINANCIA.....	20
7.1 INTRODUCCIÓN.....	20
7.2 SENSORES	20
8 ÁREA DE ESTUDIO.....	22
9 PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	24
9.1 CASO 1. ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA ILUMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN DISTINTOS USOS DEL SUELO Y VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA.....	25
9.1.1 METODOLOGÍA.....	26
9.1.1.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	26
9.1.1.1.1. OBTENCIÓN DE DATOS.....	26
9.1.1.1.2. SOFTWARE.....	28
9.1.1.1.3. GEOPROCESO DE DATOS.....	28
9.1.1.1.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	30
9.2 CASO 2. ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA INTENSIDAD DE LUZ DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	40

9.2.1 METODOLOGÍA.....	40
9.2.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	41
9.2.2.1. OBTENCIÓN DE LOS DATOS.....	41
9.2.2.2. SOFTWARE.....	41
9.2.2.3. GEOPROCESO DE DATOS.....	41
9.2.2.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	42
9.3 CASO 3. ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA INTENSIDAD DE LUZ EN CALLES Y VÍAS PÚBLICAS.	47
9.3.1 METODOLOGÍA.....	47
9.3.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	48
9.3.2.1. OBTENCIÓN DE LOS DATOS.....	48
9.3.2.2. SOFTWARE.....	49
9.3.2.3. GEOPROCESO DE DATOS.....	49
9.3.2.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	50
10 CONCLUSIONES.....	69
11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y PORTALES WEB	71
11.1 REFERENCIAS AL TEXTO.....	71
11.2 PORTALES WEB.....	72
12 ANEXO.....	73
12.1 ANÁLISIS FACTORIAL DE LAS CARACTERÍSTICAS URBANAS DEL ÁREA DEL BESÓS.....	74
12.2 LEY CATALANA DE PROTECCIÓN DEL MEDIO NOCTURNO	78
12.3 PUNTOS QUE VULNERAN LA LEY.....	81
12.4 GUÍA PRÁCTICA DE NIVELES DE ILUMINACIÓN SEGÚN EN-13201 Y RD 1890/08	85
12.5 VISUALIZACIÓN INSTAMAPS	87
12.6 ÍNDICE COMPLEMENTARIO	88
12.6.1 TABLAS	88
12.6.2 GRÁFICOS	88
12.6.3 ILUSTRACIONES	88
12.7 MAPAS.....	93

1 DIRECCIÓN DEL PROYECTO

1.1 COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto ha sido desarrollado en el ICGC (Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña) en el departamento del CSPCOT (Centre de Suport del Programa Català d'Observació de la Terra) como proyecto final de la 19 edición del "Máster en Tecnologías de la Información Geográfica". La elaboración y la coordinación del proyecto ha sido llevada a cabo por Laura Ballester y Ramón Alamús. El supervisor del proyecto es Jordi Corbera, coordinador del CSPCOT.

1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente documento recoge el estudio geoespacial que se ha llevado a cabo sobre contaminación lumínica a partir de ortoimágenes hiperespectrales y fotogramétricas, que realiza el ICGC a partir de vuelos nocturnos, en el ámbito territorial de la "conca del Besòs". Es importante entender la información que aporta el mapa de luminancia, es por esto que se explora las limitaciones y las posibilidades de explotación de los datos de este producto.

Queda fuera del estudio el análisis sobre la naturaleza de la luz.

2 MARCO INSTITUCIONAL

En el *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya* (DOGC), núm. 6551, el 30 de enero del 2014, se publica la Lei 2/2014, en la que se informa de la creación del **Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)** y de la supresión del **Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)** y del **Institut Geològic de Catalunya (IGC)**. Esta nueva institución (ICGC) entra en funcionamiento el 1 de febrero del 2014.

3 OBJETIVO

El objetivo principal de este proyecto tras disponer de las imágenes hiperespectrales (captadas con el sensor hiperespectral AISA Eagle II) y las fotografías de cámara métrica (DMC I) con los que se realiza el proceso de adquisición de los datos nocturnos de iluminación, es cuantificar la cantidad de luz medida en candelas (cd/m^2) y analizar la distribución de la iluminación según distintos parámetros geoespaciales.

Este proyecto pretende profundizar sobre la contaminación lumínica (exceso de luz) y la eficiencia energética en ámbitos urbanos, siendo protagonista la iluminación exterior pública y privada.

En definitiva se busca proporcionar procedimientos y análisis que provean de valor añadido al mapa de luminancias que actualmente está en disposición de proporcionar el ICGC.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El estudio se divide en tres casos prácticos con los siguientes objetivos:

- Caso 1: Establecer un análisis geoespacial de la iluminación de las áreas de protección de contaminación lumínica en distintos usos del suelo (municipios y elementos urbanísticos) y evaluar el cumplimiento de la normativa generando mapas de puntos donde la normativa podría no cumplirse.
- Caso 2: Analizar la intensidad de la luz en el área total de estudio por divisiones municipales. También, aplicando la misma metodología, realizar un análisis teniendo en cuenta las áreas iluminadas por puntos de máxima intensidad cercanos.
- Caso 3: Analizar la intensidad de la luz en calles y vías públicas mediante parámetros que indican el comportamiento (calidad o confortabilidad) y propagación de la luz.

4 INTRODUCCIÓN

A medida que la población mundial crece y se convierte cada vez más urbana, las ciudades aumentan en su extensión espacial y la intensidad de uso.

La luz artificial no sólo ha permitido reducir de manera sustancial la limitación natural que suponen los ciclos estacionales y el ciclo día-noche, sino que se ha convertido en un auténtico propulsor de la actividad humana. Tiene fuertes vínculos culturales que suponen un sello de expansión urbana y permite que el observador pueda desarrollar ciertas actividades en garantías de calidad, seguridad, y con un rendimiento y satisfacción adecuados. Estas ideas de modernidad, confianza y prosperidad tienden a iluminar nuestro entorno de manera intensiva, pero lo que trae beneficios inestimables, también tiene problemáticas asociadas al exceso de luz artificial nocturna.

El crecimiento del alumbrado artificial ha dado lugar a una nueva forma de agresión medioambiental, *la contaminación lumínica*. Hay una dispersión en la atmósfera provocada por los excesos de luz generados principalmente en las grandes áreas urbanas. La luz es enviada hacia el cielo en vez de ser enviada hacia el suelo, donde realmente se necesita.

Las grandes ciudades son las más afectadas por esta contaminación. La iluminación artificial está fuertemente asociada con la urbanización y está aumentando en su extensión, brillo y rango espectral. Al observar una foto del planeta por la noche las zonas iluminadas delatan los enclavamientos humanos.

El impacto de la iluminación nocturna sobre el hombre y la naturaleza son en gran parte desconocidos. El hecho de iluminar el cielo no sólo provoca un derroche energético y económico, produce un abuso de los recursos naturales y además agrede el hábitat de animales nocturnos y migratorios y la vegetación (1). Los seres vivos han adaptado sus procesos biológicos a los ciclos astronómicos fundamentales de cambio de estaciones y alternancia de día-noche. La contaminación lumínica causada por el ser humano amenaza con alterar el segundo ciclo, al eliminar la noche. Por tanto, a pesar de que el alcance de sus consecuencias no son conocidas con exactitud, sabemos que afecta tanto al medio ambiente y a los seres vivos como a la salud humana.

La importancia del análisis de la iluminación exterior urbana nocturna recae en el hecho que el conocimiento del comportamiento lumínico de la ciudad puede orientar las estrategias y soluciones para alcanzar una mejor gestión en la eficiencia energética y ambiental, en el alumbrado, una de las principales partidas presupuestarias en los municipios. Sólo el equilibrio puede conciliar los intereses de las actividades humanas nocturnas con el respeto al medio ambiente. No se trata de dejar a las ciudades y pueblos con la iluminación deficiente por la noche, al contrario, una reducción de la contaminación lumínica conlleva una mejora de la calidad de la iluminación ambiental.

Tomar decisiones estratégicas sobre la política de iluminación al aire libre, requiere un conocimiento preciso de las emisiones reales de luz y de su gestión geoespacial en los ecosistemas urbanos. En cuanto a estas emisiones se sabe poco sobre cómo su carácter y magnitud varían a través del paisaje urbano.

5 ANTECEDENTES

Una barrera importante a la investigación, la planificación y la gobernanza ha sido la falta de datos de iluminación en la extensión de la ciudad, particularmente en una fina resolución espacial. Es aquí donde entran a formar parte las imágenes hiperespectrales y multiespectrales aeroportadas como productos con características de importante resolución espacial y espectral para permitir la identificación de fuentes de luz individuales, la medida de su emisión y su composición espectral detallada.

Los sensores hiperespectrales y multiespectrales aerotransportados han sido el instrumental más utilizado desde el inicio del análisis nocturno mediante imágenes, aunque centrándose más en la detección de fuentes de emisión de luz artificial o en la clasificación basada en la detección de la firma espectral de los diferentes tipos de iluminación (2) (3) (4).

Por el contrario, los estudios basados en imágenes nocturnas satelitales se apoyaron principalmente en el análisis de la extensión urbana a escala global y regional (5). Los motivos son los siguientes:

- ✓ Menos bandas disponibles para la identificación de la firma espectral.
- ✓ Baja resolución espacial (aproximadamente 3 km para el Programa de Satélites Militares de Defensa (DMSP) (6), 740m para la plataforma de radioteléfonos infrarrojos visibles (VIIRS)) de todos los sensores operacionales que proporcionan imágenes de satélite nocturnas.
- ✓ Reducido rango dinámico de adquisiciones nocturnas.

Cabe destacar que todos los estudios anteriores carecían de una caracterización cuantitativa de la información de flujo de luz con imágenes nocturnas, por lo que hasta ahora no se había proporcionado ningún descriptor cuantitativo para evaluar la efectividad de las políticas y acciones de eficiencia energética.

6 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

6.1 CONCEPTO SOBRE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Son numerosas las definiciones que aclaran este concepto, quizás la más general fue la presentada en 1997 por el Comité Internacional de Iluminación (CIE) en su publicación CIE 126: Directrices para la minimización del brillo en el cielo, donde argumentaba que “la polución de la luz es un término genérico que indica la suma total de todos los efectos adversos de la luz artificial”.

Por su parte, el colectivo astronómico catalán *Cel Fosc* denomina contaminación lumínica al “brillo del cielo nocturno producido por la difusión de luz artificial”; brillo causado por la mala calidad y orientación del alumbrado exterior, tanto público como privado. Se trata de luz que no se aprovecha para iluminar el suelo, los caminos y allí donde habitamos, ya que o bien la enviamos por encima del horizonte y las nubes o bien la luz reflejada en las superficies iluminadas. Como resultado de ello, la oscuridad natural de la noche disminuye y desaparece paulatinamente la luz de las estrellas y los demás astros. Las neblinas y el enturbiado cielo potencian el efecto hasta el extremo de crear una capa de color gris o naranja que adopta la forma de nube luminosa sobre las ciudades. La abundancia de partículas en suspensión aumenta la dispersión de la luz, de modo que, cuanto más contaminante es el aire de la ciudad, más intenso es el fenómeno.

En cuanto a una visión científica del término, Carlos Herranz Dorremocha (Responsable de Comunicación del Colegio Oficial de Físicos), entiende la contaminación lumínica como “la alteración de la oscuridad natural del medio nocturno producida por la emisión de luz artificial (cuya fuente son, fundamentalmente, instalaciones de alumbrado nocturno de exteriores)”.

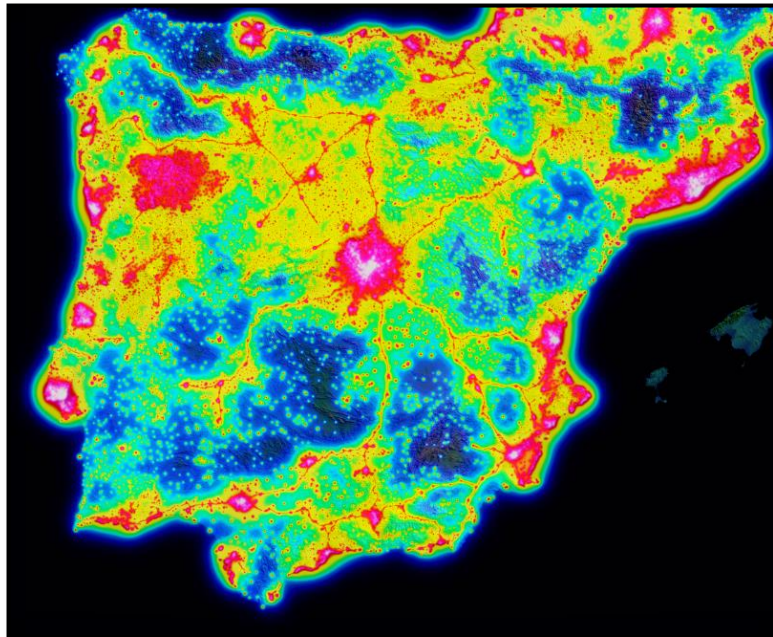
La contaminación lumínica desde el punto de vista de la Ley Catalana es definida de la siguiente manera: “La emisión del flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o rangos espectrales innecesarios para la realización de actividades previstas en la zona donde se han instalado las luces”.

Existe un nexo en común en las definiciones anteriores que son la luz artificial y sus posibles impactos sobre el medio.

El resplandor difuso del fondo del cielo nocturno quizás sea la manifestación más conocida de la contaminación lumínica. Aunque no se trate del único aspecto relevante del problema, si es el que más afecta a los estudios astronómicos y es el principal responsable de la degradación del cielo nocturno, considerado como parte integrante del paisaje natural.

La contaminación lumínica provoca un impacto negativo no solo por la emisión a la atmosfera de luz artificial y por su posterior difusión a través de las moléculas y de las partículas en suspensión de la atmosfera (ambas con un comportamiento como fuente secundaria de luz), sino por la iluminación o sobre iluminación de superficies, objetos o sujetos.

Conocer los efectos producidos por la emisión a la atmosfera de luz artificial y por su difusión a través de las moléculas, requiere profundizar sobre el concepto de la luz.



*Ilustración 1. Carta de contaminación lumínica de la Península Ibérica 2009.
Fuente: Frédéric Tapissier (Astrofotógrafo)/AVEX.*

6.1.1 LA LUZ

La luz es una radiación que se propaga en forma de ondas electromagnéticas y es capaz de excitar la retina humana.

Las ondas electromagnéticas se producen cuando una carga eléctrica experimenta una aceleración. Esta se caracteriza por su amplitud (intensidad), longitud de onda (distancia entre crestas sucesivas) y velocidad. Asociada a la longitud de onda encontramos la frecuencia, entendida como el número de crestas que pasan por un lugar determinado cada segundo.

La fuente de energía natural es el sol, estrella de masa trescientas mil veces superior a la tierra. Parte de la energía liberada por el sol se emite en forma de radiación a través de la fotosfera solar (capa más superficial del sol que alcanza una temperatura aproximada de 5.500K), llegando a la tierra una cantidad media de energía por unidad de tiempo y superficie de 1370 W/m² (constante solar). Sin esta energía sería inviable la vida en la tierra.

El espectro electromagnético es la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas. Cuando se refiere a un objeto es la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) de una sustancia. Se puede dividir en tres bandas o zonas (*ver ilustración 2*):

- Banda ultravioleta: Radiaciones con longitudes de onda inferiores a 400nm.

- Banda visible: Radiaciones con longitudes de onda correspondidas entre 400 y 700 nm.
- Banda infrarroja: Radiaciones con longitudes de onda superiores a los 700 nm.

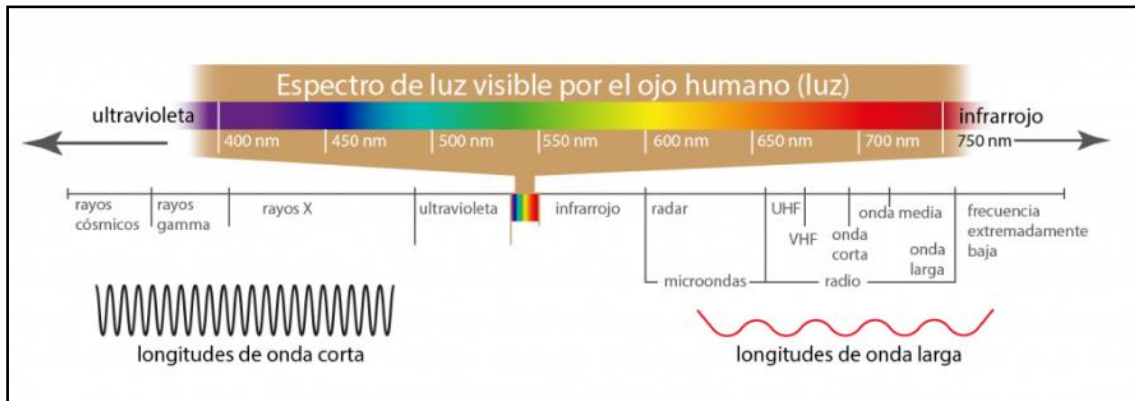


Ilustración 2. Espectro electromagnético.

Por tanto, lo que entendemos por **LUZ** es la radiación electromagnética visible por el ojo humano, con un rango de longitud de onda entre 400 y 700nm (espectro visible) y que producen sensaciones visuales.

Esta banda de luz visible se divide en seis tramos, correspondientes a los colores (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) en los que se descompone la luz blanca cuando atraviesa un medio transparente, por ejemplo un prisma (*ver ilustración 3*).



Ilustración 3. Espectro visible.

Newton demostró que un haz de luz blanca podía dispersarse por medio de un prisma (con las caras no paralelas para que ocurra una doble reflexión) en forma de un espectro. Además, descubrió que las propiedades de las longitudes de onda no se alteraban por la reflexión o refracción (*sección 6.1.2*) y que las diferentes longitudes de onda podían combinarse para dar la luz blanca original.

La conclusión fue que los colores producidos por la mezcla de las distintas longitudes de onda, daban el mismo efecto visual que una longitud de onda intermedia pero con composiciones espectrales diferentes.

Los colores son ondas, y cada color tiene una longitud de onda distinta. Las longitudes de onda son más largas cuanto más se acercan al rojo, y más cortas hacia el violeta (*ver ilustración 2*). Cuando la luz blanca

entra en el prisma, cada color toma un camino distinto y lo atraviesa a distinta velocidad. Salen reflejados con distinto ángulo. Por eso los colores se separan y se ven en la pared de forma alargada uno sobre otro, y no circular (*ilustración 3*).

El que nuestro ojo no pueda ver directamente los componentes cromáticos de la luz blanca del día, es debido a que el cerebro humano no distingue cada uno por separado.

6.1.2 INTERACCIÓN DE LA LUZ CON LA MATERIA

La incidencia de la luz sobre una superficie origina los fenómenos físicos de reflexión, refracción, absorción, transmisión y polarización. El conocimiento de éstos es fundamental tanto en el diseño de materiales en las luminarias exteriores como en el análisis de la emisión de la luz artificial hacia el cielo (origen de la contaminación lumínica). La reflexión y la refracción junto con la emisión directa, son las principales formas de difusión de la luz artificial que no es aprovechada. Por esta razón solo nos centraremos en estos dos últimos fenómenos.

- **Reflexión.** La reflexión es el cambio de dirección que experimenta la luz al chocar con un cuerpo. Si la superficie en la que se refleja la luz es perfectamente lisa y brillante o pulida, todos los rayos salen en la misma dirección produciéndose una reflexión especular. Esta forma de reflexión se produce en los espejos o en las superficies de agua totalmente lisas y en calma. En luminotecnía para obtener una reflexión especular se utilizan luminarias de aluminio anodizado y plásticos o vidrios aluminizados o plateados y espejos. La reflexión especular está regida por dos leyes fundamentales:

1. “El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano”.
2. “El ángulo de incidencia y reflexión son iguales.

Si la superficie en la que se refleja la luz es rugosa y mate, la luz reflejada se dirige en todas direcciones. Las paredes de yeso o escayola y la nieve son ejemplos de superficies que producen reflexión difusa. En el diseño de luminarias se utilizan difusores de policarbonato que producen una reflexión difusa y evitan deslumbramientos.

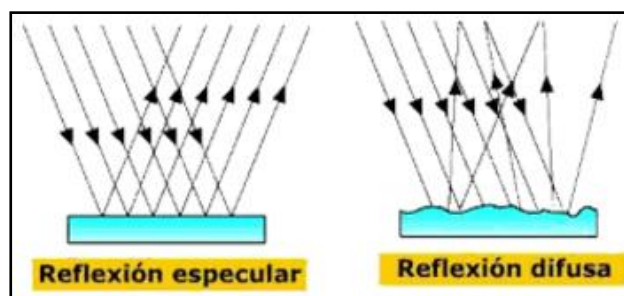


Ilustración 4. Diferencia entre la reflexión especular y difusa.

Finalmente, la reflexión será mixta cuando la luz incide en una superficie que no es ni especular ni difusa, sino una combinación de ambas. En iluminación la mayoría de los difusores son de reflexión mixta.

• **Refracción.** Se define la refracción como el cambio de dirección que experimenta la luz, cuando pasa de un medio a otro, debido a la variación de la velocidad de la onda de un medio a otro (diferencia del índice de refracción).

Por tanto, a mayor índice de refracción menor velocidad de la luz en ese medio.

En la *Ilustración 5* se observa como al producirse un cambio de velocidad y dirección de la luz al pasar de un medio a otro, el lápiz presenta una apariencia distorsionada.

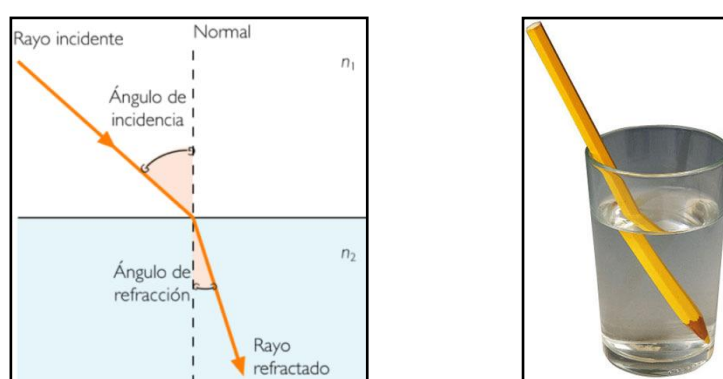


Ilustración 5. Fenómeno de refracción.

La refracción se rige por las Leyes de Snell, cuyos enunciados son:

1. “La razón del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción, es una constante, que depende de los dos medios pertinentes y de la longitud de onda de la luz incidente”.
2. “El ángulo incidente, el ángulo reflejado y la normal se encuentran en el mismo plano”.

6.2 DIFUSIÓN DE LA LUZ EN LA ATMÓSFERA

Como se ha comentado al inicio del capítulo, la luz visible es una onda electromagnética y como tal se produce cuando una carga eléctrica sufre una aceleración.

La atmosfera terrestre está compuesta por moléculas de gases y aerosoles (partículas en suspensión). La forma de propagación de la luz visible en la atmosfera dependerá si esta interacciona bien con una molécula de gas o bien con un aerosol.

Las moléculas de gases puros son de un tamaño muy inferior a la longitud de onda de la luz visible. De modo que, cuando la radiación electromagnética interacciona con estas partículas mucho más pequeñas que su longitud de onda, se produce la denominada “Teoría del Esparcimiento de Rayleigh” (en honor a

Lord Rayleigh). Es decir, la luz incide sobre las moléculas y agita sus nubes electrónicas, de manera que se sustrae parte de la energía al rayo luminoso. La agitación de las cargas eléctricas de las cortezas y núcleos atómicos de la molécula del gas hace que se vuelva a emitir esa energía en forma de radiación electromagnética de nuevo, pero en una dirección aleatoria. El resultado neto es que la luz incidente puede ir rebotando de molécula en molécula y termina esparciéndose en el seno de toda la masa del gas. Este proceso se verifica incluso en el seno de gases puros, sin aerosoles ni contaminantes de ningún tipo.

La intensidad del esparcimiento es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda, por tanto cuanto más corta sea la longitud de onda, más se esparcirá la luz en el seno del gas. Este efecto alcanza una intensidad cuatro veces mayor para la luz azul que para la luz roja, y llega a ser trece veces mayor para la luz ultravioleta que para la roja. Este es el motivo por el cual vemos el cielo azul, ya que el mecanismo de interacción entre la luz y las moléculas del aire (independiente de su composición química) favorece mayoritariamente el esparcimiento de los tonos de longitud de onda corta, mientras que tiene poca intensidad para las longitudes de onda larga.

La difusión de la luz será diferente en el caso de interactuar con un aerosol. Hay que recordar que las partículas en suspensión o aerosol atmosférico, son una mezcla de sustancias en estado sólido y/o líquido suspendidas en el medio gaseoso atmosférico y con origen diverso como la contaminación atmosférica, el mar, los volcanes o las nubes.

En este caso, el tamaño del aerosol atmosférico se asemeja a la longitud de onda de la luz visible y se debe aplicar la "Teoría del Esparcimiento de Mie", encontrando que la luz incide en las partículas y estas la difunden en direcciones muy semejantes (no idénticas) a las de partida. El esparcimiento de Mie presenta una dependencia inversa lineal con la longitud de onda, de modo que la luz azul tiende a esparcirse un poco más que la roja por este efecto.

La luz de origen artificial, origen de la contaminación lumínica, se difunde en la atmosfera según las dos leyes físicas comentadas. Uno de los resultados de la introducción de luz artificial en la atmosfera consiste en el esparcimiento de parte de ella, lo que confiere al fondo de cielo un resplandor que interfiere de manera negativa en los estudios astronómicos y los ecosistemas.

Debemos tener en cuenta que la luz reflejada en pavimentos y fachadas también se esparce en la atmosfera. Esta emisión se puede regular haciendo un uso razonable de los niveles de alumbrado, es decir, iluminando solo lo necesario y haciéndolo en unos horarios coherentes.

6.3 TIPOS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La contaminación lumínica se manifiesta de diferentes maneras que pasan a detallarse a continuación:

- **Por luz intrusa.** Se define luz intrusa como la invasión de luz artificial fuera del área de iluminación prevista, con las molestias que esto provoca en las zonas adyacentes.

En este caso el impacto es provocado cuando una instalación de alumbrado exterior emite luz en direcciones que exceden de la zona que se pretende iluminar.

En general, se debe al uso de luminarias con exceso de altura, que no solo iluminan el área de calzada necesaria, sino que emiten luz que incide en los edificios y regiones cercanas. Es muy común en zonas urbanas, donde esta intrusión no se detiene en las fachadas de los edificios, sino que se penetra en las viviendas y modifica el entorno doméstico y las actividades humanas.

Otro ejemplo de luz intrusa la encontramos en la iluminación de playas y paseos marítimos donde son iluminadas extensiones de agua, que pueden provocar deslumbramientos por reflexión e impactos negativos sobre la fauna y flora de la costa.

- **Por difusión hacia el cielo (resplandor luminoso).** Como se ha comentado en la sección anterior (6.2) este fenómeno se debe a la interacción entre las moléculas del aire y los aerosoles con la luz, produciéndose lo que se conoce como difusión. Su resultado es un haz luminoso que inicialmente tiene una dirección concreta y acaba siendo dispersado por estos agentes en múltiples direcciones, especialmente hacia el cielo. Cuanto menos orientado y concentrado este el haz de una luminaria hacia el suelo (es decir, cuanta más luz desperdicie en horizontal o en vertical), más luz será difundida hacia el cielo. Un exceso de iluminación en el suelo, también implica una mayor difusión ortogonal.

Esta forma de contaminación lumínica se evidencia en noches cubiertas donde las nubes resplandecen con intensidad por encima de las zonas urbanas (*Ilustración 6*).

En el resplandor luminoso nocturno existen dos componentes, por un lado el brillo natural del cielo, producido por la radiación de los astros (el cielo no es totalmente negro ni en las mejores condiciones de observación) y los procesos luminiscentes en zonas altas de la atmósfera y por otra, el brillo artificial del cielo ocasionado por la difusión de la luz artificial.

Este resplandor luminoso nocturno produce un velo en el campo de visión que dificulta las observaciones astronómicas nocturnas ya que, se realizan en las longitudes de ondas pertenecientes o próximas al espectro visible. Por tanto, ya que no se puede actuar sobre el brillo natural se hace necesario minimizar al máximo el brillo procedente de la difusión de la luz artificial.

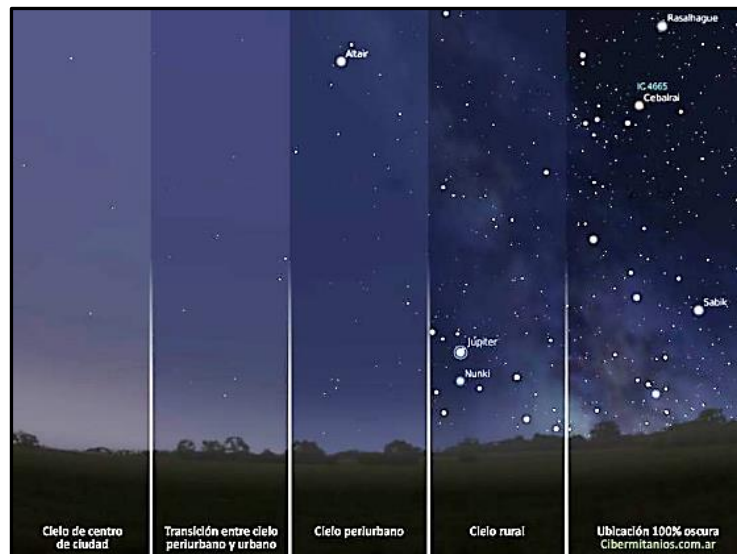


Ilustración 6. Comparación de la oscuridad del cielo según la cercanía a centros urbanos.

Fuente: STELLARIUM

Además, dado que la difusión de la luz se produce por la interacción del haz luminoso con las partículas presentes en la atmósfera, su efecto se verá influenciado por la humedad ambiental, las nubes, los aerosoles tanto de origen natural o antropogénico, etc.

- **Deslumbramiento.** Definimos deslumbramiento como la incapacidad del ojo humano para adaptarse simultáneamente a grandes diferencias de luminancia.

El ojo humano tiene la capacidad de adaptarse al nivel medio de luminancia existente en un momento dado en su campo de visión. Cuando en ese campo el valor medio de la luminancia es excesivo y/o aparecen objetos excesivamente brillantes con relación al entorno se produce este fenómeno.

El deslumbramiento puede ser directo (es el caso de una luminaria brillante dentro del campo de visión) o reflejado (caso de espejos, superficies acristaladas, etc.)

También podemos diferenciar entre un deslumbramiento molesto que no impide la visión y uno perturbador que impide la percepción de los objetos. Además, el deslumbramiento se puede producir por la dispersión de la luz en el sistema óptico del ojo (deslumbramiento por velo), dando lugar a una reducción en el contraste de luminancias, o por una aparición o desaparición repentina de la fuente de luz que ocasiona un proceso de adaptación del ojo (deslumbramiento de adaptación) al nuevo entorno, que ocasiona una pérdida de percepción de los objetos durante ese periodo.

El deslumbramiento representa un factor peligroso para el tráfico rodado, en tanto que puede impedir ver a un conductor la aparición de un peatón o de otro coche, y para los ecosistemas de áreas naturales atravesadas por carreteras.

En el caso del alumbrado en las vías de tráfico rodado, un exceso de potencia instalada, la presencia de luminarias mal apantalladas, el paso brusco de zonas iluminadas a oscuras (y viceversa) e instalaciones con proyectores mal direccionados pueden provocar el deslumbramiento del conductor poniéndose en peligro la seguridad vial. Otros factores que pueden ocasionar un deslumbramiento en el conductor son: la distribución luminosa y la dirección de los haces (bloqueo óptico inadecuado), la altura de la luminaria y la luminancia del fondo.

Una de las consecuencias de los tipos de contaminación lumínica mencionados es el sobreconsumo. Este se produce cuando la emisión artificial de luz implica un consumo energético excesivo debido a la excesiva intensidad de la iluminación, al horario de funcionamiento del alumbrado, o a la emisión de luz en direcciones en que no es necesario iluminar.

Este exceso de energía consumida ocasiona sobrecostes económicos reflejados en la facturas de la luz, un incremento del consumo de recursos naturales no renovables (caso de la energía procedente de centrales eléctricas abastecidas de combustibles fósiles). Son numerosos los casos de exceso de iluminación en las ciudades. A modo de ejemplo se destaca el tipo de luminaria instalada en la Plaza Pau Casals de Santa Coloma de Gramanet (*Ilustración 7*). No solo contamina el cielo nocturno por emitir luz al hemisferio superior, ya que refleja en la superficie que la complementa provocando reflexión en todas direcciones, sino por su excesiva intensidad lumínica como puede comprobarse en la sección 9.2.2.4. dentro de área de estudio.



*Ilustración 7. Tipo de luminaria de la Plaza Pau Casals en Santa Coloma de Gramanet.
Fuente: Street View*

7 MAPAS DE LUMINANCIA

7.1 INTRODUCCIÓN

Como ya se ha venido comentando, la contaminación lumínica nocturna es un efecto colateral de la civilización industrial y se refiere habitualmente a la excesiva luz artificial procedente de la iluminación exterior e interior de edificios, publicidad, comercios, oficinas, instalaciones deportivas y especialmente, el alumbrado público de las calles.

Desde hace pocos años atrás, existe una preocupación sobre la eficiencia y el ahorro energético que ha ido despertando la idea de monitorizar la iluminación nocturna, tanto a escala local, como regional y global. Uno de los objetivos que se persiguen es la reducción de los costes en la iluminación pública o privada, así como una disminución del impacto sobre el medioambiente. Este último es el que cobra importancia en los casos de estudio analizados en este proyecto. Para llevar a cabo este tipo de investigación, es fundamental disponer de una herramienta capaz de describir cuantitativamente la cantidad de luz artificial radiada a nivel de suelo.

La función de luminosidad fotópica, definida por la *Commision Internationale de l'Éclairage* (CIE), describe la sensibilidad espectral promedio de la percepción visual humana del brillo de una fuente luminosa para las diferentes longitudes de onda. Resulta imprescindible que los instrumentos utilizados para medir la cantidad de luz en una zona determinada sean capaces de reconstruir la respuesta del ojo humano.

Los sensores hiperespectrales que operan en el rango visible e infrarrojo cercano (*Visible-Near Infrared* o VNIR) son dispositivos muy versátiles, puesto que combinan las ventajas de una visión sinóptica de la superficie terrestre, cuando están a bordo de aviones o satélites, con una alta resolución espectral del espectro de la zona observada.

Con la finalidad de establecer una caracterización cuantitativa del flujo luminoso para las imágenes nocturnas y así poder realizar un seguimiento de las actuaciones efectuadas en la gestión de la iluminación urbana, el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) ha desarrollado una metodología para determinar la cantidad del flujo de luz a escala local mediante el proceso de imágenes nocturnas captadas simultáneamente con el sensor hiperespectral AisaEAGLE-II junto con una cámara fotogramétrica digital DMC I (7).

7.2 SENSORES

La metodología se basa en la fusión de los dos sensores que han captado el territorio simultáneamente: el sensor hiperespectral AisaEagle-II (*Ilustración 8a*) y la cámara fotogramétrica DMC (*Ilustración 8b*).

El sensor *aeroportado AisaEAGLE-II*, fabricado por la empresa finlandesa SPECIM, es un sensor de barrido (pushbroom o escaneo por líneas) operando en la región espectral VNIR. El sensor dispone de un CCD

(Coupled Charged Device) matricial, con una dimensión espacial (columnas del CCD) y otra espectral (filas del CCD), permitiendo seleccionar bandas específicas dentro del rango espectral. En su eje transversal la resolución espacial depende de la altura de vuelo y la focal de la óptica del sensor. En el eje longitudinal o dirección de vuelo la resolución espacial depende de la velocidad del avión sobre el terreno y de la frecuencia de muestreo (frame rate) del sensor. El sensor hiperespectral es calibrado geométrica, espectral y radiométricamente anualmente por el fabricante. A partir de datos captados por el sensor hiperespectral se deriva el mapa de luminancias, que en el caso que nos ocupa tiene un tamaño de píxel de 1,5 metros (para profundizar en los detalles de la obtención de estos mapas ver las referencias: (7) y (8)).

La *cámara fotogramétrica DMC*, fabricada por la empresa alemana Z-I Imaging (actualmente parte del grupo Hexagon GeoSystems), es un sensor de cuadro (matricial). El sensor dispone de un canal de alta resolución pancromático y cuatro canales de baja resolución multiespectrales (rojo, verde, azul e infrarojo). El factor de escala entre los canales de baja y alta resolución es de 1:4. A su vez el canal pancromático es el resultado de hacer el mosaico de cuatro imágenes captadas por cuatro cabezales diferentes que cubren un cuarto de la imagen cada uno. El sensor es calibrado periódicamente geométricamente, pero la calibración radiométrica no es tan completa como en el caso del sensor hiperespectral. A partir de la cámara DMC se deriva una ortoimagen nocturna pancromática de alta resolución: con un tamaño de píxel de 25 cm (en las mismas condiciones de vuelo que con el sensor hiperespectral se capta una imagen de 1,5m de tamaño de píxel).

Tabla 1. Características principales y características de las adquisiciones nocturnas del sensor AisaEAGLE-II y la cámara DMC.

	AisaEAGLE II	DMC 26
Nombre de píxels de la FOV	1024	13824 x 7680
Nombre de bandas espectrales	126	PanHR/Color4LR
Rang espectral [nm]	404,08 – 996,31	VIS/NIR
Altura del vol [m]	2300	2300
Resolució espacial al terreny GSD [m]	1,5 x 2,8	0,23 (panHR) / 1 (LR)
Solapament entre passades	40%	70% x 70%

Mediante la fusión del mapa de luminancias derivado de las imágenes hiperespectrales y de la ortoimagen nocturna generada a partir de las fotografías adquiridas con la DMC se obtiene un mapa de luminancias de alta resolución (ver detalles en los artículos (7) y (8)). La información extraída del sensor hiperespectral se usa para calibrar radiométricamente la ortoimagen generada con la DMC. A su vez la DMC proporciona el detalle espacial que el sensor hiperespectral no alcanza.



8 ÁREA DE ESTUDIO

Cataluña (*Ilustración 9*) se sitúa en la parte noroeste del mar Mediterráneo. Cubre un área de 31.895 km² con una población oficial de 7.477.131 (IDESCAT, 2017).

La zona seleccionada para la realización del estudio es la “Conca del Besòs” entre Montcada i Reixac y la desembocadura del río Besòs en Sant Adrià del Besòs. Es un área aproximada de 35 km² que incluye los municipios completos de Santa Coloma de Gramanet y Sant Adrià del Besòs y de manera parcial Badalona, Barcelona y Montcada i Reixac. Esta región de interés (ROI) se encuentra dentro de las comarcas del Barcelonès y Vallès Occidental. Limita al noroeste con el “Parc Natural de la serra de Collserola”, al sureste con el mar Mediterráneo, al este con Badalona y al oeste con Barcelona (*Ilustración 10*).

La entidad territorial elegida es una superficie mayoritariamente urbana (89 % de la ROI) aunque también hay zona industrial (11% de la ROI). En las décadas 60-70 del pasado siglo la “Conca del Besòs” sufrió un fuerte desarrollo industrial acompañado de un elevado crecimiento demográfico.



Ilustración 9. Cataluña



Ilustración 10. ROI

Cabe destacar que en el Área de Besòs existe documentación, que recoge la biblioteca AMB, pionera en la representación geoespacial sobre el desarrollo urbanístico (9).

Para poder entender la organización urbana debido al masivo aumento ocupacional del territorio y poder obtener criterios para clasificar el suelo en sub-áreas homogéneas, se aplicó el método de «análisis factorial».

En la ejecución de esta técnica estadística se necesita definir unas variables para luego poder explicar las correlaciones entre ellas. Es aquí donde aparece la **iluminación** (alumbrado público) como variable y deja constancia de ser grafiada sobre plano (ver anexo).

En cuanto al actual mapa de luminancias se obtuvo a partir de un vuelo realizado con el sensor Aisa Eagle-II y la cámara DMC el sábado 29 de octubre del 2016 entre las 21:30 y las 11:00 en horario local un

día de luna nueva para que la luz del Sol reflejada en la Luna no tenga influencia alguna en el mapa de luminancias final. El vuelo se realizó a 2300 metros de altura capturándose un píxel de tamaño 1,5 m y 0,25 m respectivamente para los sensores Aisa y DMC.

Nótese que los vuelos nocturnos se han realizado buscando ciertas condiciones específicas: la no influencia de fuentes de luz distintas a las artificiales en condiciones de uso normales, es decir, en luna nueva y fuera del periodo en que la iluminación artificial sea propia de las fiestas navideñas.

9 PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

Durante el siglo XX el consumo de luz artificial se ha convertido en un factor de progreso tecnológico y social, un indicativo del actual modelo de desarrollo económico. La proliferación de grandes infraestructuras necesitadas de ingentes cantidades de luz, la multiplicación del alumbrado en zonas urbanas y rurales, así como los grandes dispositivos que, a modo de reclamo, utiliza la industria recreativa o comercial, afianzan, por un lado, este nuevo modelo de desarrollo, y, por otro, contribuyen a agravar el conflicto que nos ocupa.

Bajo el uso indiscriminado e irracional de luz artificial se halla latente el problema de la contaminación lumínica. Se trata de una agresión al medio ambiente que no ha provocado preocupación debido a la indetectabilidad de sus efectos en el día a día. Sin embargo, astrónomos y ecologistas llevan alertando de sus consecuencias desde los años 70. Han sido estos colectivos los que, ante sus efectos en la observación del cielo nocturno y la interacción de la luz artificial en la flora y fauna, han puesto sobre la mesa esta problemática.

En consecuencia a todo lo expresado, la finalidad es crear una metodología que ayuda a conseguir productos que exploten la información de la imagen de teledetección de luminancia y proporcionen herramientas a los gestores de la iluminación en espacios públicos.

El estudio se divide en tres casos prácticos:

- Caso 1: Establecer un análisis geoespacial de la iluminación en las áreas de protección de contaminación lumínica en distintos usos del suelo y verificación del cumplimiento de la normativa.
- Caso 2: Analizar la intensidad de la luz en el área total de estudio por divisiones municipales. También, aplicando la misma metodología, realizar un análisis teniendo en cuenta las áreas iluminadas por puntos de máxima intensidad cercanos.
- Caso 3: Analizar la intensidad de la luz en calles y vías públicas mediante parámetros que indican el comportamiento (calidad o confortabilidad) y propagación de la luz.

Estos análisis se han realizado en la zona de interés descrita en la sección 8.

9.1 CASO 1. ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA ILUMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN DISTINTOS USOS DEL SUELO Y VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA.

El 27 de noviembre de 2015 entró en vigor el Decreto 190/2015, de 25 agosto, de despliegue de la Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental de deslumbramiento para la protección del medio nocturno.

Dicha Ley establece una división del territorio de Cataluña (*Ilustración 11*) en cuatro niveles de protección distintos (ver anexo normativa zonas de protección de contaminación lumínica) en función de la vulnerabilidad del medio nocturno frente a la contaminación lumínica. En esta ley se establecen criterios y límites para la iluminación en espacios abiertos. También se establecen criterios y límites en términos de luminancia, en particular luminancia máxima en el territorio, criterios y límites que varían en función de la zona de protección que estén ubicados (*Tabla 3*).

Esta zonificación se representa en el mapa de protección frente a la contaminación lumínica de Cataluña (10).

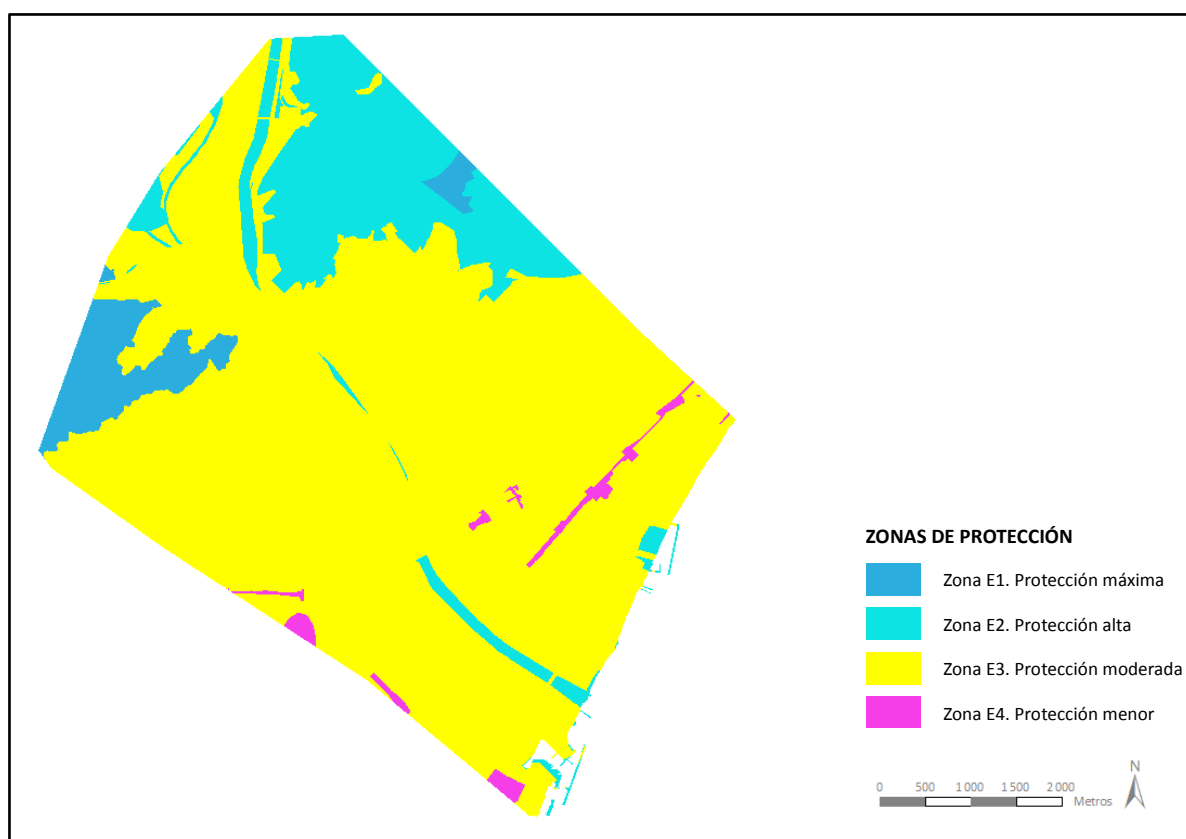


Ilustración 11. Mapa de zonas de protección lumínica en el área de estudio

En esta sección se discuten dos problemas distintos:

- 1) El análisis de la distribución de la luminancia según criterios de división territorial definida en las zonas de protección de contaminación lumínica y los municipios del área de trabajo.
- 2) El potencial para la detección de puntos dónde potencialmente se pueda estar vulnerando la normativa existente.

9.1.1 METODOLOGÍA

En la siguiente ilustración se muestra el flujo de datos y procesos empleados. Esta metodología se desarrolla en detalle a lo largo de la presente sección.

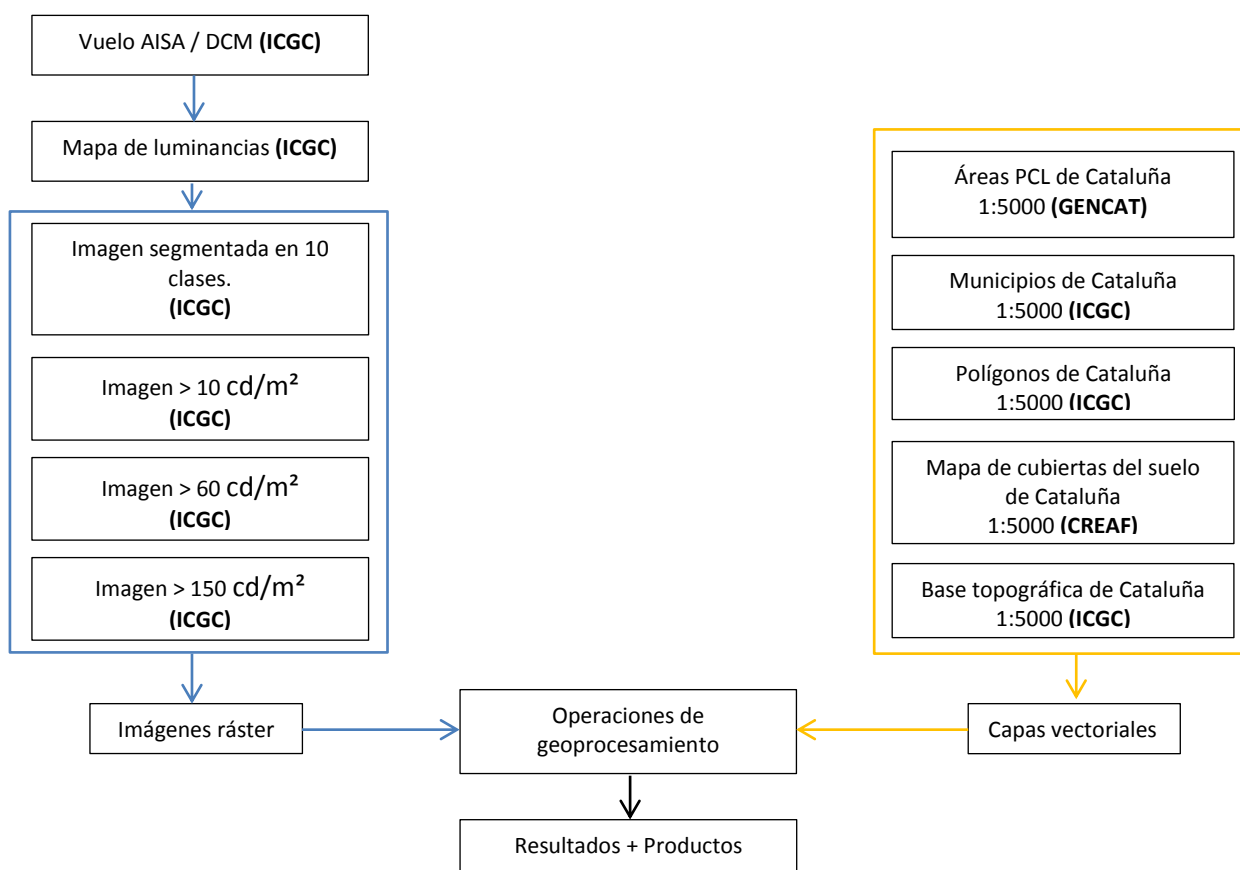


Ilustración 12. Esquema del procedimiento metodológico.Caso1.

9.1.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

9.1.1.1. OBTENCIÓN DE DATOS










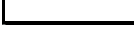
El mapa de luminancias se obtiene de la fusión del sensor AisaEAGLE-II y la cámara fotogramétrica digital DMC (sensores descritos en la sección 7.2) embarcados en el avión Cessna Caravan, instrumental propiedad del ICGC, para obtener imágenes nocturnas.

La ortoimagen de luminancias está codificada como archivo tif de 16 bits sin signo, conteniendo la luminancia en centésimas de cd/m^2 y con una resolución espacial de 25 cm. La imagen está geo-

referenciada: el sistema de referencia es ERTS89 y las coordenadas están expresadas en la proyección UTM huso 31N.

La ortoimagen nocturna de luminancias proporciona una visión sinóptica de las emisiones de luz en la zona de estudio. Para una interpretación más sencilla y simplificar la información contenida en la ortoimagen, el mapa de luminancias se ha segmentado en las siguientes 10 clases (*Tabla 2*).

Tabla 2. Leyenda de la segmentación de luminancia por clases.

	Clase	Luminancia
	1	$\geq 0,35$ e $< 0,65$ cd/m ²
	2	$\geq 0,65$ e $< 0,85$ cd/m ²
	3	$\geq 0,85$ e $< 1,25$ cd/m ²
	4	$\geq 1,25$ e $< 1,75$ cd/m ²
	5	$\geq 1,75$ e $< 3,00$ cd/m ²
	6	$\geq 3,00$ e $< 4,00$ cd/m ²
	7	$\geq 4,00$ e $< 5,00$ cd/m ²
	8	$\geq 5,00$ e $< 7,50$ cd/m ²
	9	$\geq 7,50$ e $< 10,00$ cd/m ²
	10	$\geq 10,00$ cd/m ²

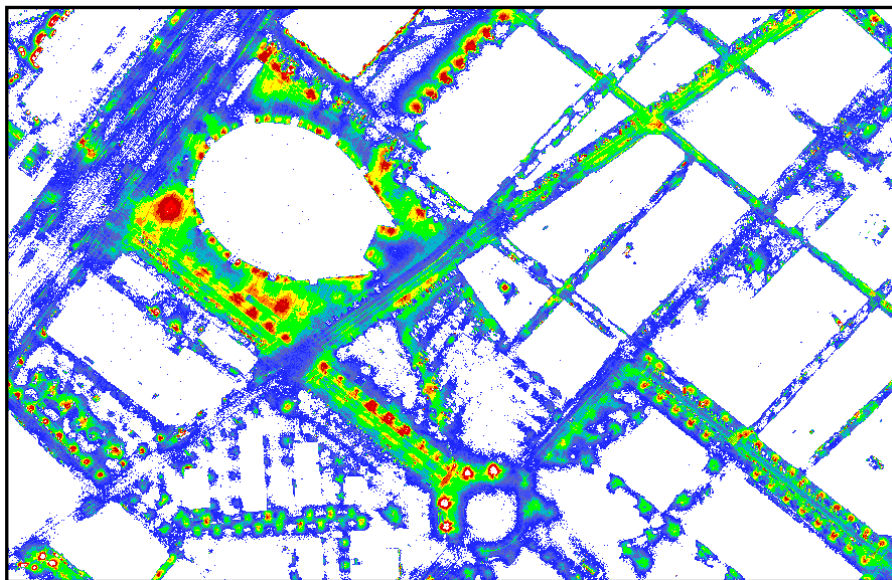


Ilustración 13. Detalle del mapa de luminancias segmentado en 10 clases.

La segmentación del mapa de luminancias establece una simplificación de la información contenida que debe ser adaptada a la aplicación deseada. En otras palabras, dependiendo de la aplicación puede ser más conveniente establecer una segmentación diferente o usar la imagen de luminancias original. Este

proceso de segmentación permite simplificar y reducir el contenido de información, facilitando la interpretación o uso en procesos posteriores.

Las capas vectoriales han sido descargadas de los repositorios públicos o internos del ICGC de las entidades indicadas en el esquema del procedimiento metodológico (*Ilustración 12*). Esta información vectorial se encuentra en el sistema de referencia cartográfico ETRS89 y las coordenadas vienen expresadas en la proyección UTM huso 31N. A continuación se detalla los puntos de acceso.

- **Áreas de protección de contaminación lumínica de Cataluña**
http://territori.gencat.cat/ca/01_departament/12_cartografia_i_toponimia/bases_cartografiques/medi_ambient_i_sostenibilitat/bases_miramont/atmosfera-00001/contaminacio_lluminosa/
- **Municipios de Cataluña**
Información interna del ICGC
- **Polígonos de Cataluña**
<http://www.icc.cat/vissir3/>
- **Mapa de cubiertas del suelo de Cataluña**
<http://www.creaf.uab.es/mcsc/>
- **Base topográfica de Cataluña**
<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-topografica/Base-topografica-de-Catalunya-1-5.000>

9.1.1.2. SOFTWARE

Para llevar a cabo los procesos descritos se ha utilizado el software:

- **ArcGis:** programa creado por ESRI (Environmental Systems Research Institute). Utilizado para manipular las tablas de atributos (cálculo de áreas y sumatorios de las mismas) así como para visualizar resultados finales (www.arcgis.com).
- **Qgis:** programa *open source* empleado en la obtención de resultados previos y en la realización de operaciones ráster (www.qgis.org).
- **Excel:** hojas de cálculo dedicadas a operaciones de porcentajes y creación de gráficos.
- **Instamaps:** programa libre creado en el ICGC utilizado para la visualización y representación de los mapas finales (www.instamaps.cat).

9.1.1.3. GEOPROCESO DE DATOS

En el análisis de la distribución de la luminancia según criterios de división territorial, áreas de protección de contaminación lumínica, PCL en adelante, se ha procedido de la siguiente manera. En primer lugar ha habido una familiarización con el área de estudio observando cual es la distribución de las zonas PCL y delimitándolas en la región de interés y en segundo lugar, se ha llevado a cabo un estudio urbanístico sobre el comportamiento de la luz en la totalidad del área y por divisiones municipales.

La riqueza de la información de los datos de luminancia genera dificultades en la manipulación de estos datos en formato vectorial. Por tanto se ha optado por implementar procedimientos donde los datos de

luminancia se han tratado en su formato ráster original trasladando esta información a capas vectoriales en Qgis.

Procedimiento 1

1. Mediante la herramienta ráster (*Qgis: Ráster-Extracción-Clíper*) se intersecta la imagen segmentada en 10 categorías con cada una de las zonas PCL por separado. Se repite el proceso 4 veces (uno por cada PCL).
2. Como resultado se obtiene la imagen segmentada intersectada con cada una de las capas vectoriales.
3. La imagen resultante se convierte a vector.
4. En esta nueva capa vectorial se ha transferido la información de luminancias a las capas vectoriales con información sobre PCL y municipales. Dónde se realizan operaciones de geometría para obtener parámetros tales como las áreas de PCL de cada municipio y las áreas de iluminación según la segmentación de luminancias para toda el área de estudio y por municipios.
5. Se analiza los resultados de distribución de iluminación por PCL y municipios.

En el caso de la detección de puntos dónde potencialmente se pueda estar vulnerando la normativa de PCL existente, que ha de adaptarse según la normativa a cada área PCL, se elabora otro procedimiento.

En este caso, se han generado tres imágenes o máscaras cada una segmentada en valores de cd/m^2 en consonancia con los límites que impone la normativa.

Tabla 3. Niveles máximos de luminancia para iluminación exterior en función de la zona de protección de contaminación lumínica. Fuente: Decreto 190/2015, Ley Catalana de protección del medio nocturno, Anexo 2.

Zona de protección	Luminancia máxima (cd/m^2)
E1	10
E2	10
E3	60
E4	150

Procedimiento 2

1. Dadas las tres máscaras ráster que indican las áreas con valores de luminancia superiores a 10, 60 y 150 cd/m^2 se transforman a vector.
2. Las capas vectoriales resultantes son intersectadas con la capa de área PCL de manera individual con cada zona (E1, E2, E3, E4): la capa vectorial con los polígonos que tienen luminancia superior a 10 cd/m^2 se intersecta con las zonas E1 y E2, la capa vectorial con los polígonos que tienen luminancia superior a 60 cd/m^2 se intersecta con la zona E3 y finalmente

la capa vectorial con los polígonos que tienen luminancia superior a 150 cd/m² se interseca con la zona E4.

3. Como resultado se obtiene unas capas con las áreas que tienen una luminancia por encima del umbral de la ley de las que se extrae los centroides para proporcionar una geolocalización para la posible infracción.
4. Se analiza los puntos hallados que superan el umbral de luminancia permitida en función del área de PCL donde se localicen. También se proporcionan los valores máximos de luminancia alcanzados en cada una de estos puntos.

9.1.1.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el análisis de la distribución de la luminancia según criterios de división territorial, tras ser ejecutado el procedimiento 1, inicialmente se obtiene un primer gráfico que indica la distribución espacial que ocupan las áreas PCL en cada municipio.

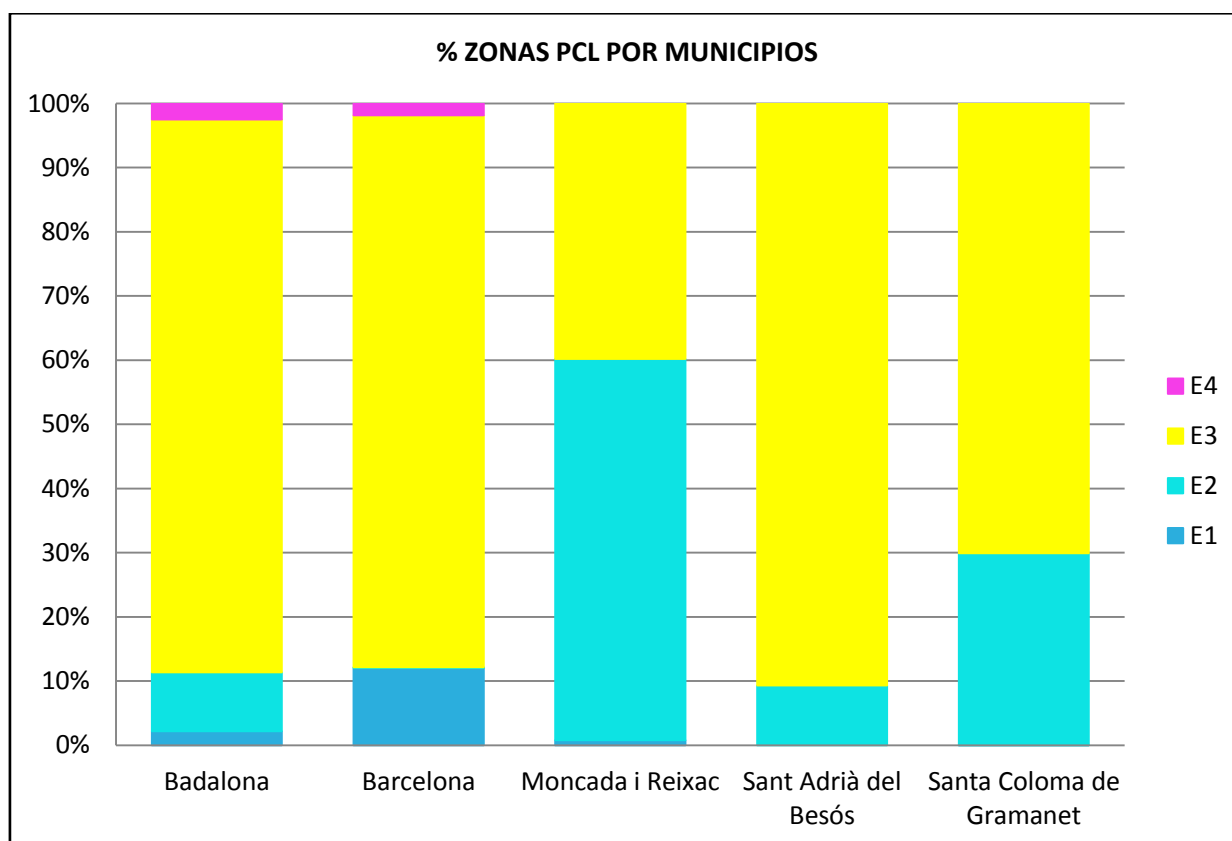


Gráfico 1. Representación de las áreas PCL por municipios.

Siendo la región de interés principalmente urbana resulta natural que la zona E3 sea la de mayor superficie con casi un 90% en la mayoría de las divisiones municipales, salvo en el caso de Moncada i Reixac que aparece sólo marginalmente en un extremo del área de trabajo. La zona E3 se trata de una zona de protección moderada que el planteamiento urbanístico la clasifica como suelo urbano o urbanizable.

Por detrás de E3 la sigue E2 cobrando mayor importancia en Moncada i Reixac (zona boscosa) y sin apenas representación en Barcelona (zona urbana) siendo un área de protección alta clasificada como suelo no urbanizable.

El área de estudio abarca muy poca zona de espacio natural como se ve reflejado en los valores de la zona E1 en el *Gráfico 1*, declarada área de máxima protección.

La zona E4, área de protección menor, supone el 0,02% del territorio (Cataluña) es por esto que destaca por su mínima presencia. Aparece en Badalona y Barcelona caracterizándose estos municipios por tener suelo urbano considerado de uso intensivo durante la noche para alta movilidad de personas o elevada actividad comercial o de ocio (ver anexo normativa PCL). La zona E4 reservada a zonas de servicios e infraestructuras (p.e de seguridad y/o salud), está actualmente en revisión por un uso o intento de uso inapropiado (comunicación personal de Salvador Rivas a Jordi Corbera).

En segundo lugar, se elabora un análisis sobre la distribución de luminancias en la totalidad del área de estudio, así de la distribución municipal. Este mismo análisis se realiza también para una serie de elementos urbanísticos o usos del suelo: zonas deportivas, polígonos industriales, parques urbanos, calles y zonas transitables.

- **ÁREA DE ESTUDIO**

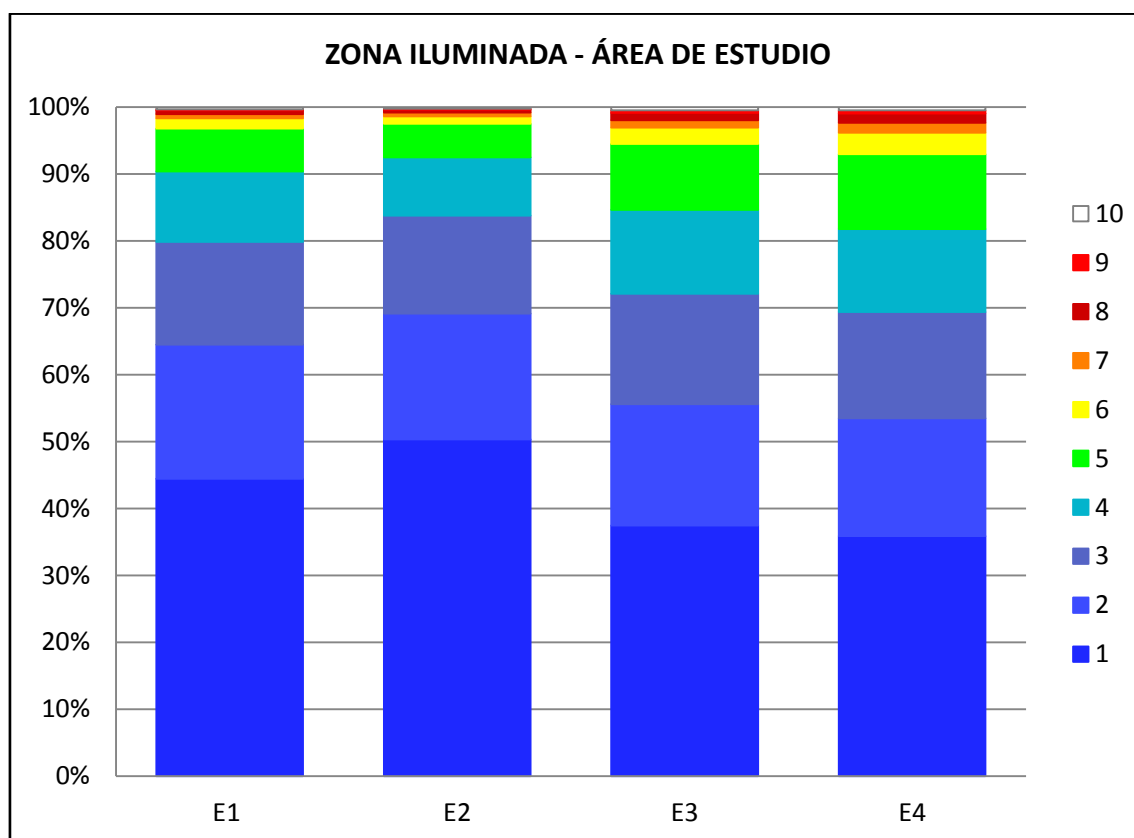


Gráfico 2. Distribución de la luz en las áreas de PCL según la segmentación de luminancia.

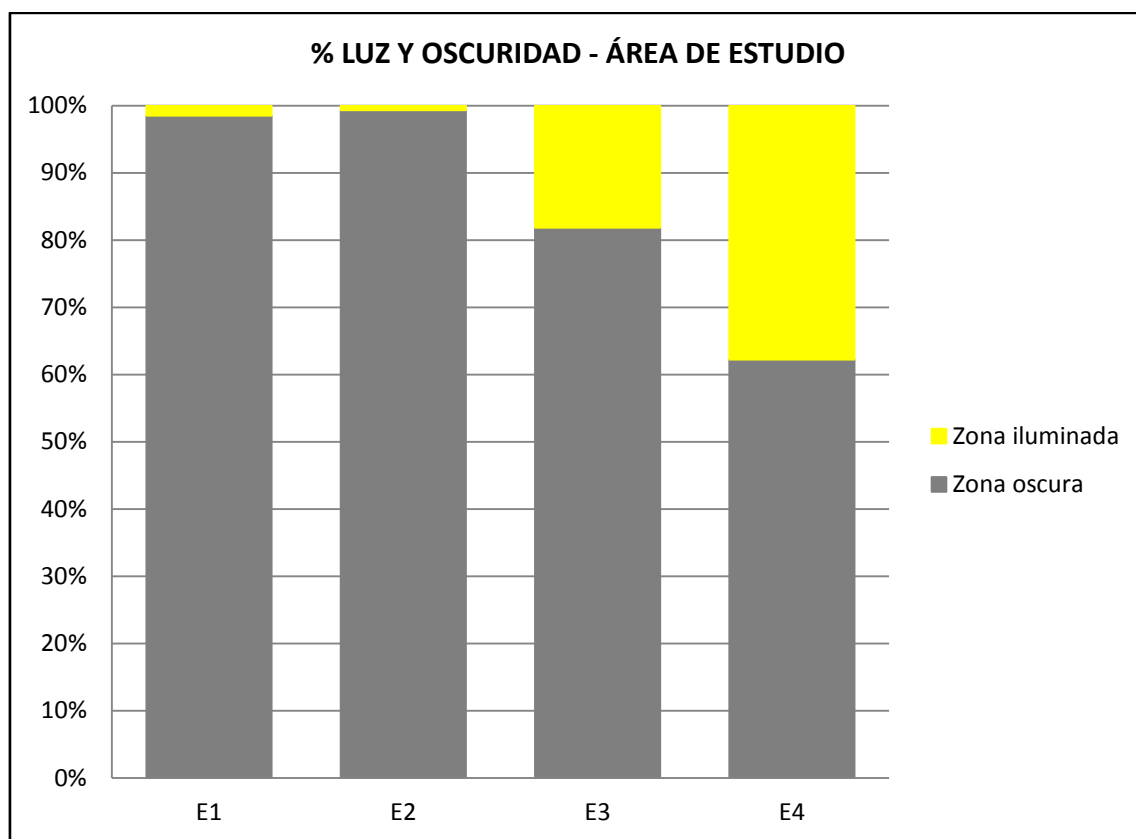


Gráfico 3. Distribución de la luz en las áreas de PCL.

Ambos gráficos (*Gráfico 2* y *Gráfico 3*) coinciden en que las zonas E3 y E4 están más iluminadas (*Gráfico 3*) y las zonas iluminadas están más intensamente iluminadas como puede apreciarse en el *Gráfico 2* dónde se observa claramente que, dentro de las zonas iluminadas, el porcentaje de zonas de mayor luminancia es mayor. Resultado esperable ya que se trata de áreas residenciales y zonas comerciales mientras que E1 y E2 son prácticamente oscuras debido a que son áreas de protección máxima y alta, respectivamente, de la contaminación lumínica correspondiendo a espacios de interés natural y zonas situadas fuera de las zonas residenciales urbanas.

Estos resultados muestran que existe un compromiso con la Ley en la que se refleja el cumplimiento del uso que le corresponde a cada área. La idea con las zonas E3 y E4 es promover la eficiencia energética de los alumbrados exteriores e interiores mediante el ahorro energético, sin dejar de lado la seguridad, así como prevenir y corregir los efectos de la contaminación lumínica en la visión del cielo. En las zonas E1 y E2 la finalidad estriba en mantener, en la mayor medida posible, las condiciones naturales de las horas nocturnas, en beneficio de la fauna, la flora y los ecosistemas en general.

• MUNICIPIOS

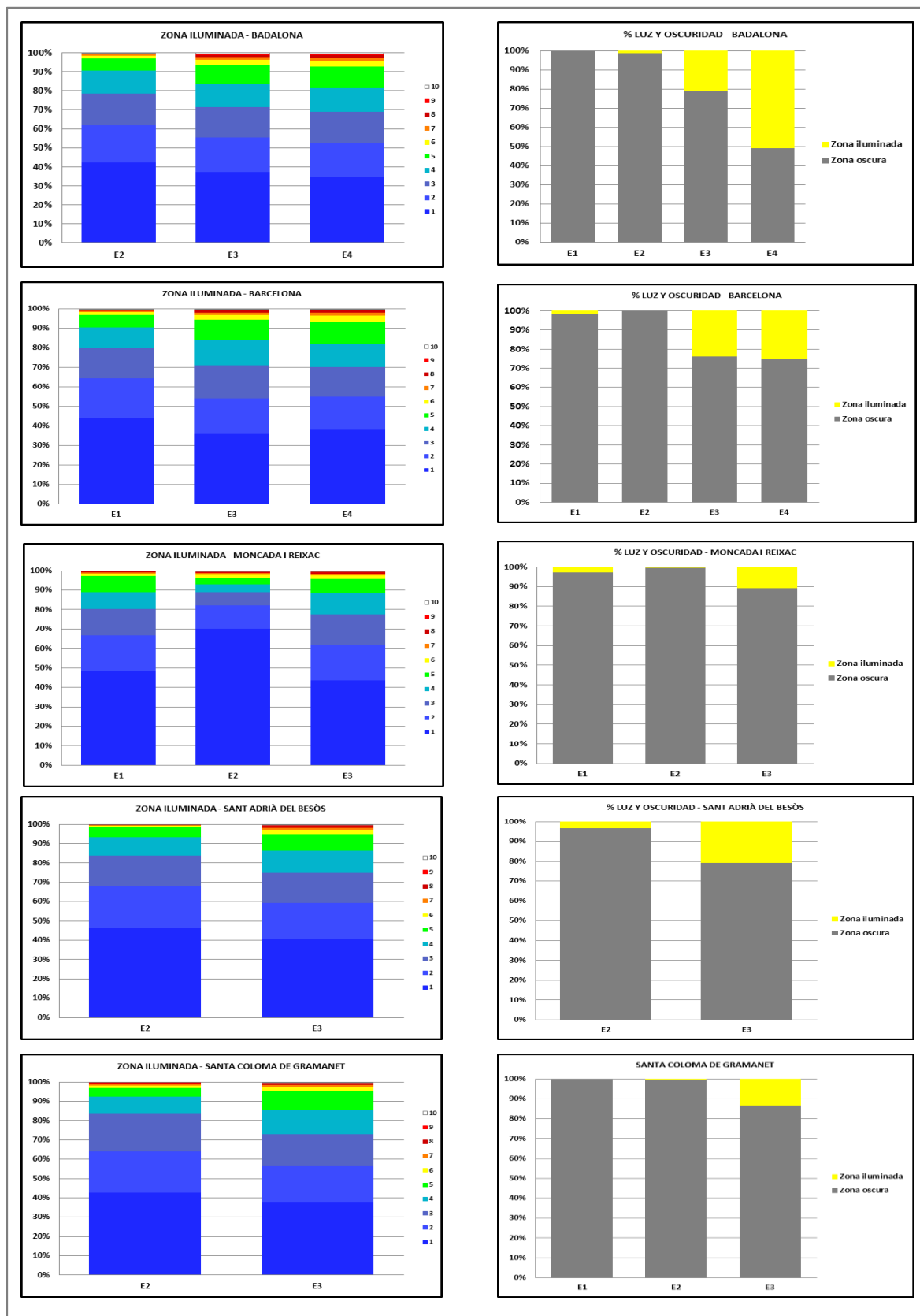


Gráfico 4. Distribución de la luz por municipios.

Haciendo referencia a los gráficos sobre la distribución de la luz en los municipios que forman parte del estudio, se observa que tienen una actitud similar en las zonas oscuras (E1 y E2) rozando el 100% de completa oscuridad coincidiendo con la clasificación del suelo.

Es destacable la zona E4 por el alto porcentaje de luminosidad sobre el territorio con más del 50% en Badalona y el 25% en Barcelona. Independientemente que sea una zona en la que se admita un brillo alto puede darse el caso que sea un claro ejemplo de exceso de luz artificial.

A excepción de E4, se produce un desarrollo reglamentario positivo.

- ELEMENTOS URBANÍSTICOS

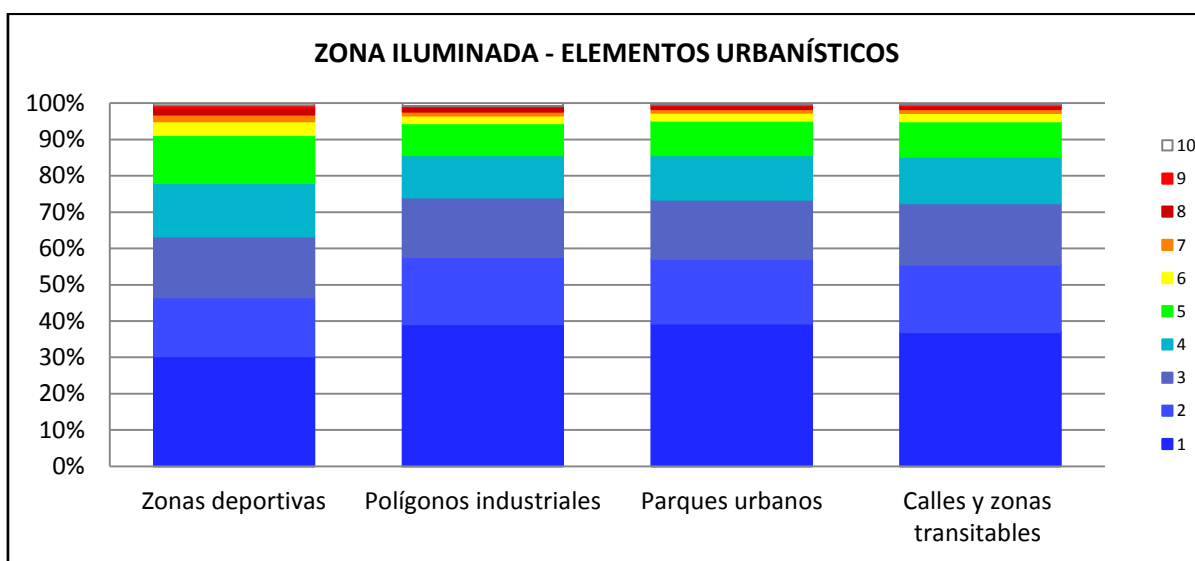


Gráfico 5. Distribución de la luz en elementos urbanísticos según la segmentación de luminancia.

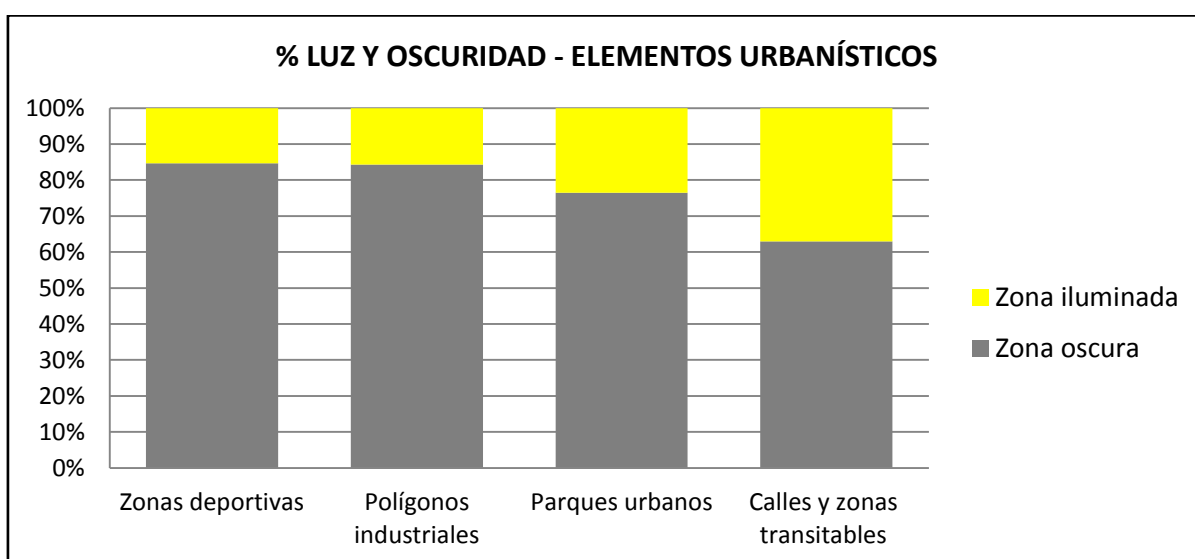


Gráfico 6. Distribución de la luz en elementos urbanísticos.

El comportamiento de la luz en función de la segmentación de luminancias es muy semejante tanto en polígonos industriales como en parques urbanos.

Con respecto a la luminosidad total, se cumple con las expectativas iniciales de que las zonas de mayor funcionalidad tienen una mayor iluminación (al menos en términos de superficie iluminada), no hay duda que las calles con un 37% muestran mayor superficie iluminada siendo un espacio con mucho movimiento humano. Las acompañan con un 24% de iluminación los parques urbanos con motivo de prevención y mantenimiento de las condiciones de seguridad para el ciudadano.

Los polígonos industriales y las zonas deportivas aparecen con la misma representación del 15%. Estas últimas presentan mayor relevancia debido a la actividad deportiva a horas entradas en la noche. Si bien las calles y parques urbanos (zonas transitables abiertas al público) tienen una mayor superficie iluminada respecto a las zonas deportivas (*Gráfico 6*), pero se observa en el *Gráfico 5* que la luminancia es mayor en el caso de las zonas deportivas.

En el caso de la detección de puntos donde potencialmente se pueda estar vulnerando la normativa de PCL existente, procedimiento 2, se realiza una búsqueda de posibles puntos que puedan vulnerar la legalidad vigente según los niveles máximos de luminancia exterior en función de las zonas PCL (*Tabla 3*).

- **Zona E1: Protección máxima.** Luminancia superior a 10 cd/m^2 .

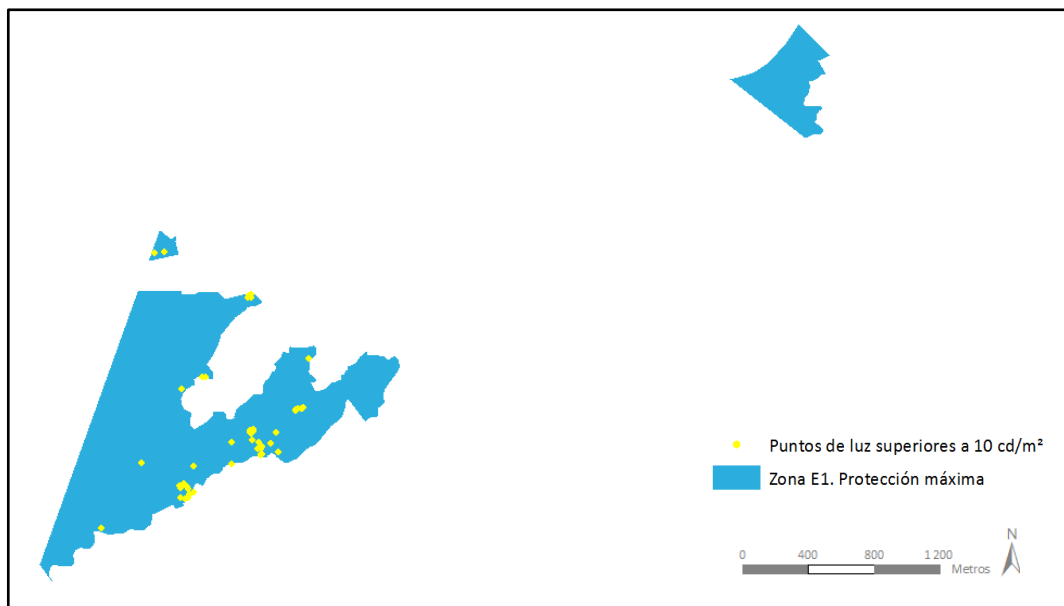


Ilustración 14. Puntos de luz superiores a 10 cd/m^2 en zona E1.

Se han encontrado 59 puntos por encima de lo que dicta la Ley. Analizando la distribución de los máximos alcanzados en estos 59 puntos se puede observar que la mayoría, 39 de 59, se encuentra en el rango de 10 a 25 cd/m^2 como muestra el *Gráfico 7*.

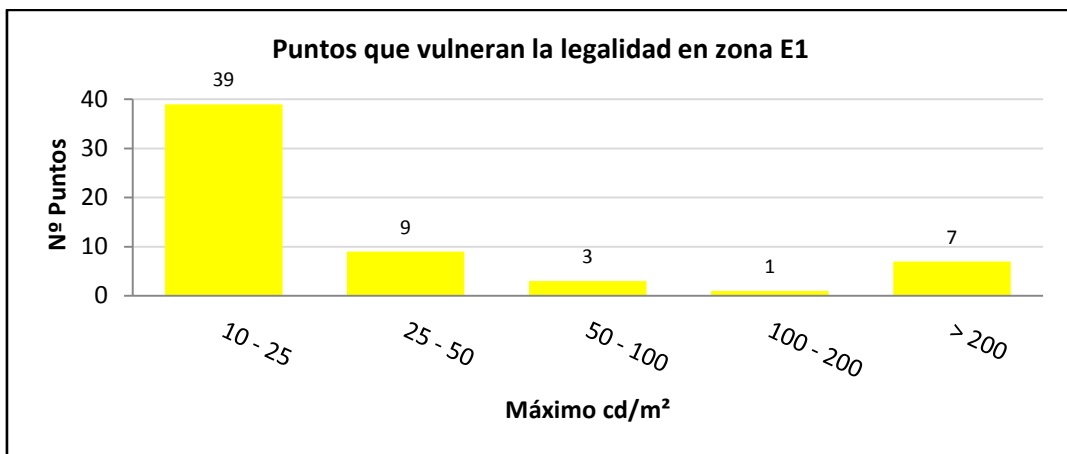


Gráfico 7. Puntos que se exceden del máximo legal en zona E1.

Es remarcable el hecho de que se han detectado 7 puntos que alcanzan valores máximos que exceden en mucho, por encima de los 200 cd/m^2 , el umbral determinado en la legislación. Hay que destacar que estos valores están por encima del límite de la zona E4 clasificada como la más permisiva que tiene el máximo en 150 cd/m^2 .

Cabe la posibilidad que alguno de estos máximos puedan ser falsos positivos (por ejemplo luces de vehículos o reflejos en eventuales superficies metálicas o húmedas bajo una farola) tratándose de indicadores de posibles farolas o puntos de iluminación que incumplen la normativa.

- **Zona E2: Protección alta.** Luminancia superior a 10 cd/m^2 .

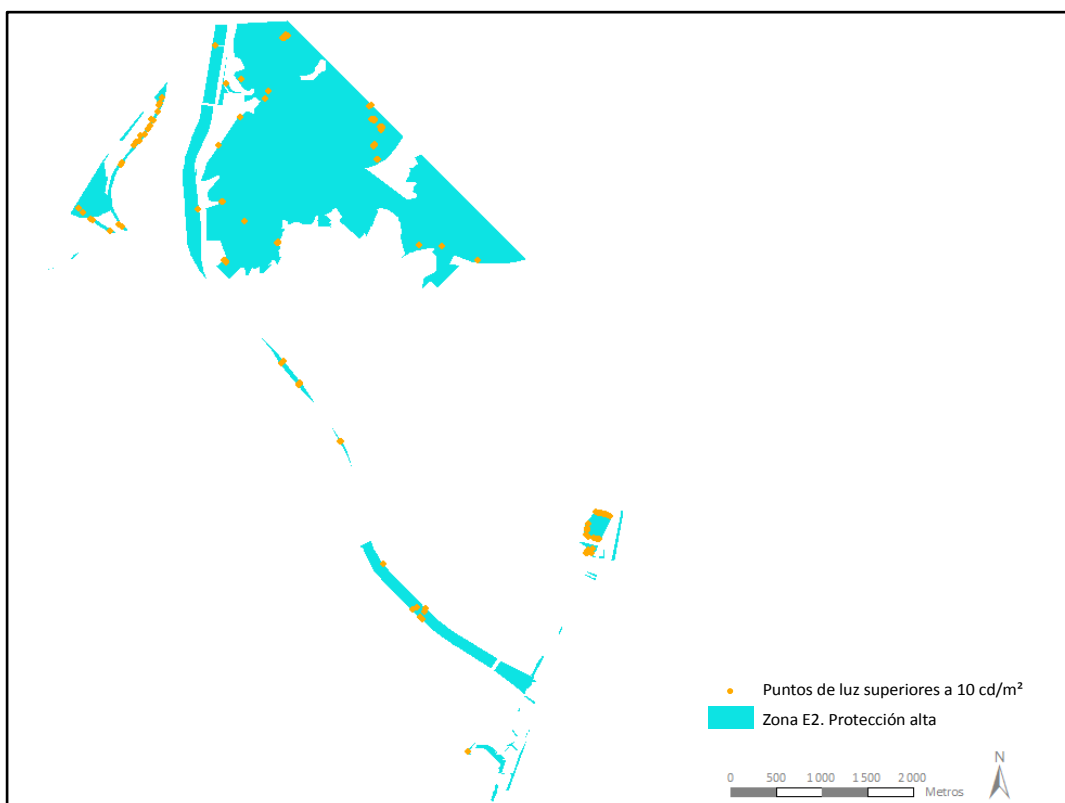


Ilustración 15. Puntos de luz superiores a 10 cd/m^2 en zona E2.

En la búsqueda de puntos que incumplan la normativa en la zona PCL E2 se han hallado un total de 156. El gráfico (Gráfico 8) muestra el análisis de los máximos alcanzados en estos 156 puntos. Se observa como el número de incidencias de máximos se va reduciendo a medida de que la luminancia máxima crece, al contrario que en el caso anterior (Zona E1).

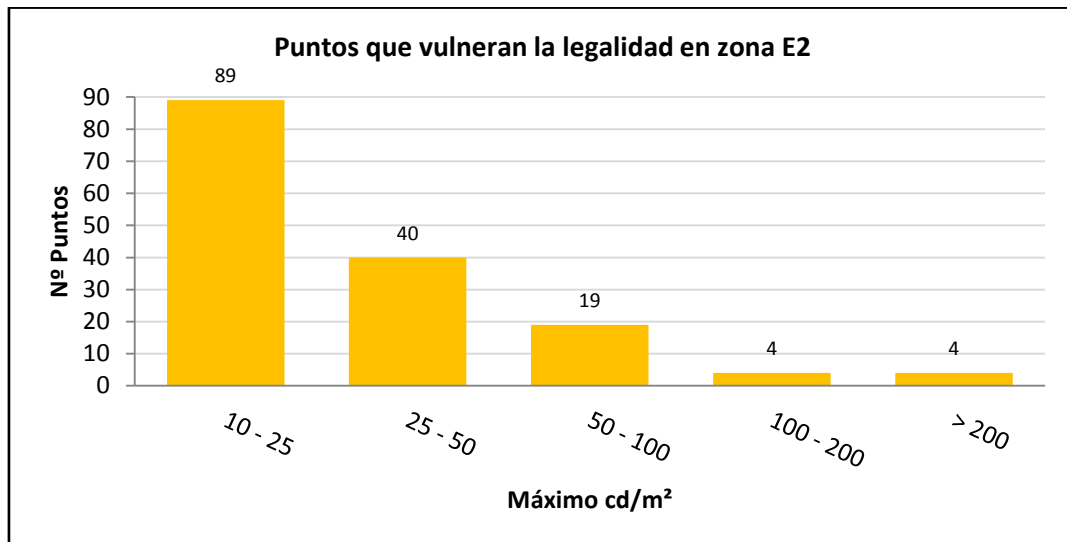


Gráfico 8. Puntos que se exceden del máximo legal en zona E2.

No obstante, resulta llamativa la cantidad de puntos entre las 25 y las 100 cd/m^2 ya que se cuadruplica la luminancia rebasando el límite legal. Al tratarse de una zona fuera de áreas residenciales es oscura tal y como se ha comprobado en el análisis anterior sobre la distribución de la luz. Estos hechos sugieren que en ocasiones se abusa de luces demasiado intensas para iluminar áreas eminentemente oscuras.

- **Zona E3: Protección moderada.** Luminancia superior a 60 cd/m^2 .

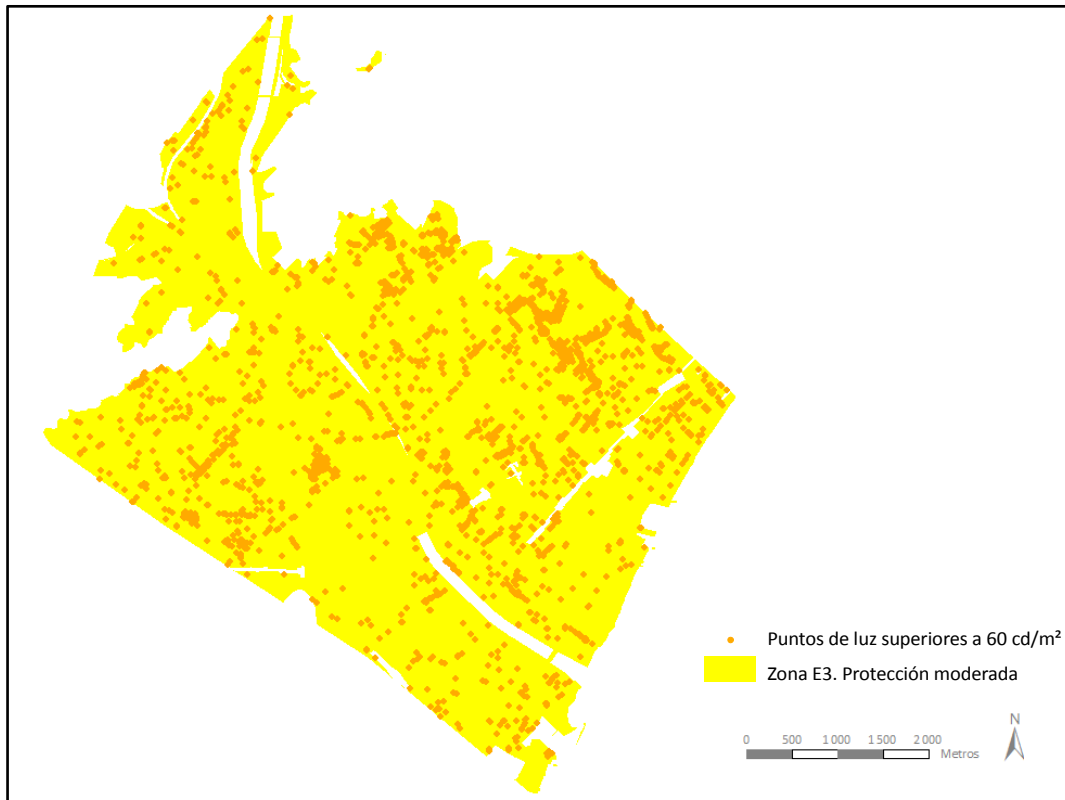


Ilustración 16. Puntos de luz superiores a 60 cd/m^2 en zona E3.

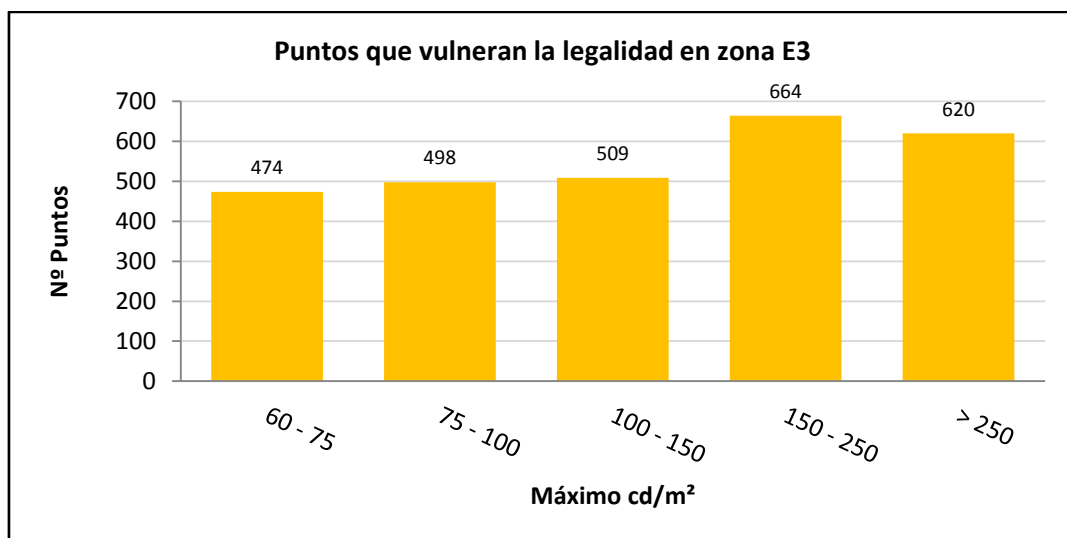


Gráfico 9. Puntos que se exceden del máximo legal en zona E3

Son 2765 puntos los detectados excediendo el límite de la legalidad en la zona E3. El análisis de la distribución de los máximos alcanzados en estos 2765 puntos (Gráfico 9) muestra un comportamiento muy distinto al observado en el caso de la zona E2: en lugar de mostrar una disminución de puntos detectados en función de la luminancia, la distribución de estos máximos se muestra constante. El rango

con más representación está entre 150 y 250 cd/m^2 superando el doble de la barrera legal. Nótese que se han detectado 1284 puntos que superan el doble del umbral permitido según normativa.

Considerando que corresponde a una zona urbana en la que la superficie de iluminación es muy extensa, la detección de tan gran número de puntos puede ser un indicador de exceso de iluminación en las calles y en las vías que podría ser causada por mala orientación y/o intensidad inapropiada de los aparatos de iluminación (lámparas, carteles, etc.) siendo motivo posibles áreas de deslumbramientos y pérdida de agudeza visual. Estos puntos detectados con este exceso de luz pueden potencialmente ser puntos dónde se den casos de intrusión lumínica en el entorno doméstico debido a la luz exterior procedente de fachadas, de focos, etc. que penetra en las viviendas particulares.

- **Zona E4: Protección menor.** Luminancia superior a 150 cd/m^2 .

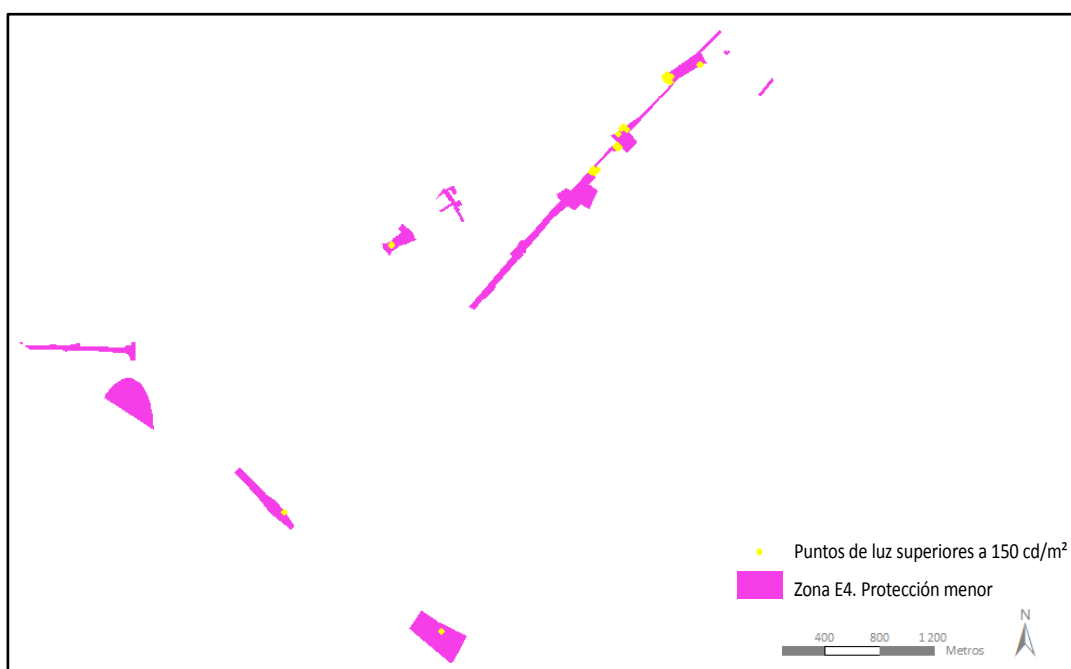


Ilustración 17. Puntos de luz superiores a 60 cd/m^2 en zona E3.

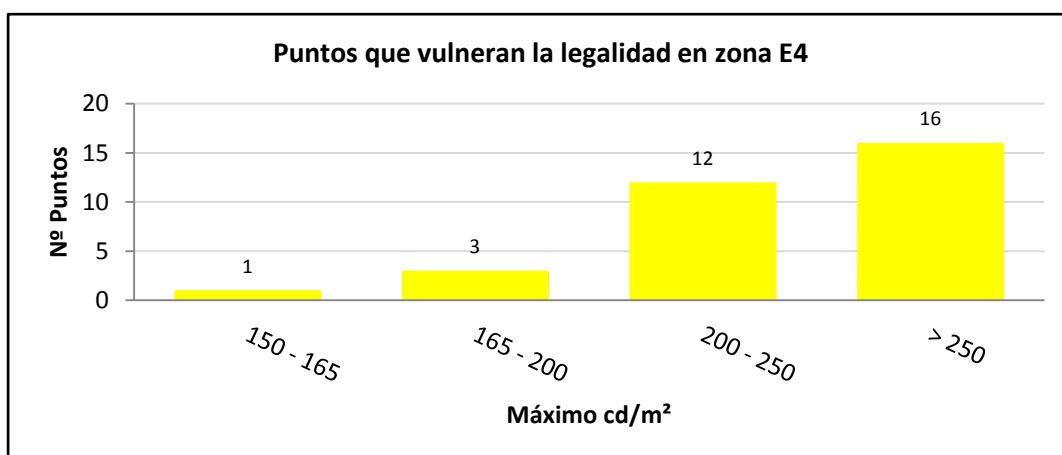


Gráfico 10. Puntos que se exceden del máximo legal en zona E4.

Han sido localizados 32 puntos que sobrepasan el umbral permitido. Analizando la distribución de los máximos alcanzados en estos 32 puntos se observa un presunto potencial abuso de la permisividad de la zona E4, detectándose máximos sistemáticamente muy elevados aun siendo una zona de protección menor que permite una iluminación mayor.

La zona E4 se ubica en áreas de suelo urbano de uso intensivo durante la noche debido a una alta movilidad de personas o por su elevada actividad comercial o de ocio. Toda esta actividad induce a un uso incorrecto, a menudo abusivo, de energía eléctrica. En las zonas comerciales y los parques de ocio se emplean unos niveles de iluminación frecuentemente innecesarios que conducen a un consumo de electricidad del todo injustificado.

Nótese que estos resultados son consistentes con la comunicación personal de Salvador Ribas (director científico del Parc Astronòmic del Montsec) a Jordi Corbera (Cap d'Àrea del CSPCOT en el ICGC), anunciando la revisión de la ley, en especial la zonificación E4 ya que se está asignando a zona E4 espacios urbanos que no corresponde al espíritu de la ley.

9.2 CASO 2. ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA INTENSIDAD DE LUZ DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El flujo de iluminación o la potencia de iluminación aportan una idea de la intensidad lumínica generada por las fuentes de luz en todas las dimensiones espaciales.

La imagen origen, elemento principal en la realización del estudio, contiene la información sobre la luminancia que se escapa ortogonalmente del suelo.

9.2.1 METODOLOGÍA

En la siguiente ilustración se muestra el flujo de datos y procesos empleados. Esta metodología se desarrolla en detalle a lo largo de la presente sección.

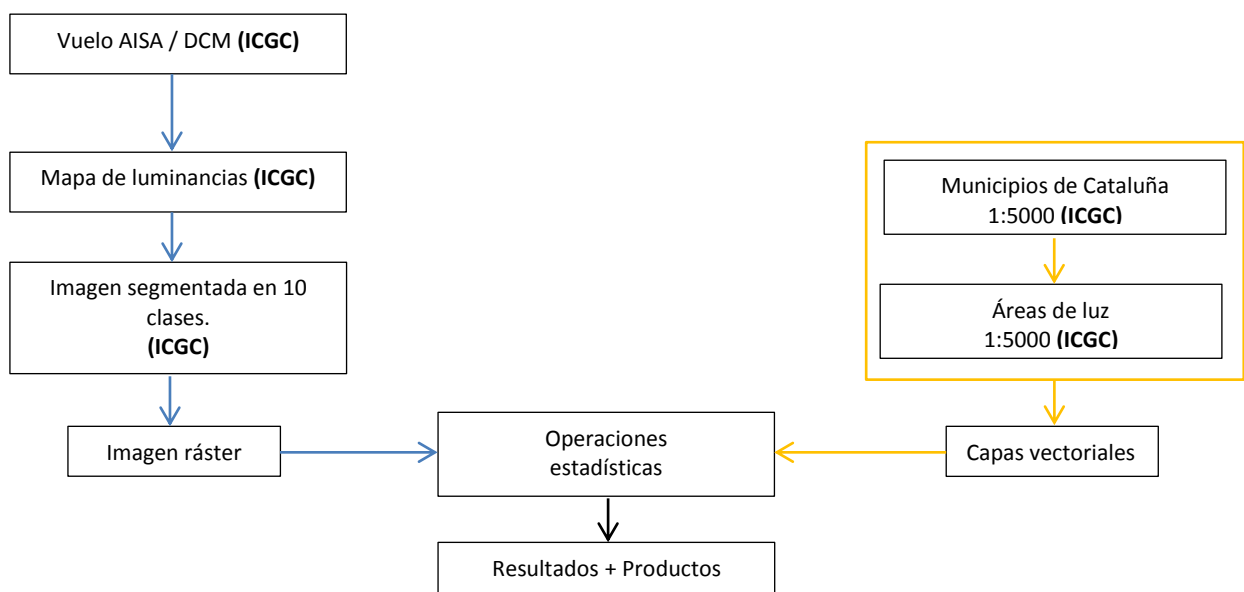


Ilustración 18. Esquema del procedimiento metodológico.Caso2.

9.2.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

9.2.2.1. OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Ver sección 9.1.1.1 OBTENCIÓN DE DATOS en la página 26.

La capa vectorial de áreas de luz ha sido generada por el ICGC a partir de la ortoimagen de luminancias. En la imagen ráster se ha buscado los píxeles que proporcionan máximos locales de luminancia en un radio de 6 metros. Posteriormente, se han generado las áreas que potencialmente están iluminadas por dichos puntos de luz.

9.2.2.2. SOFTWARE

Para llevar a cabo los procesos descritos se ha utilizado el software:

- **ArcGis:** programa creado por ESRI (Environmental Systems Research Institute). Utilizado para visualizar resultados finales (www.arcgis.com).
- **Qgis:** programa *open source* empleado en la obtención de resultados previos y en realización de operaciones estadísticas cruzando ráster con capa vectorial (www.qgis.org).
- **Instamaps:** programa libre creado en el ICGC utilizado para la visualización y representación de los mapas finales (www.instamaps.cat).

9.2.2.3. GEOPROCESO DE DATOS

En esta sección se ha calculado una variable estadística que permite el análisis geoespacial de la distribución de la intensidad de la iluminación en la totalidad del área de trabajo así como por unidades administrativas y áreas de luz iluminadas por puntos de máxima intensidad cercanos.








En la obtención de la variable se produce un traspaso de la información de los datos de luminancia a las capas vectoriales. Como consecuencia de este proceso se elabora un procedimiento a seguir.

Procedimiento

1. Mediante la herramienta ráster (*Qgis: Ráster-Estadísticas zonales*) se intersecta la imagen segmentada en 10 categorías con el área de trabajo, con la división municipal y con las áreas de luz. En este paso 1 es elegida la variable estadística, el promedio, para proceder al cálculo.
2. Como resultado se obtiene las variables estadísticas reflejadas en la tabla de atributos de las capas vectoriales intersectadas.
3. Se analiza los resultados de distribución de intensidad de iluminación en el área de trabajo, por división municipal y áreas de luz.

En la representación se ha establecido un criterio (*Tabla 4*) para esta variable estadística con la ayuda de la guía práctica de niveles de iluminación según la UNE (11) en función del tipo de vía y uso. Esta norma ha sido enfocada para la luminancia media en carreteras y calles de la zona de trabajo (ver tabla en anexo).

Tabla 4. Leyenda de luminancia media según los niveles de iluminación de la UNE.

	Luminancia media (Lm)
	< 0.30 cd/m ²
	0.30 - 0.45 cd/m ²
	0.45 - 0.65 cd/m ²
	0.65 - 0.85 cd/m ²
	0.85 - 1.25 cd/m ²
	1.25 - 2.00 cd/m ²
	> 2.00 cd/m ²

9.2.2.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados de distribución de intensidad de iluminación en el área de trabajo, por división municipal y áreas de luz, después de llevar a cabo el procedimiento metodológico, se proporcionan los mapas de promedios de luminancias.

- ÁREA DE ESTUDIO. CENSOS MUNICIPALES.

En la visualización del mapa (*Ilustración 19*) se muestra el promedio de las áreas delimitadas por censos municipales.

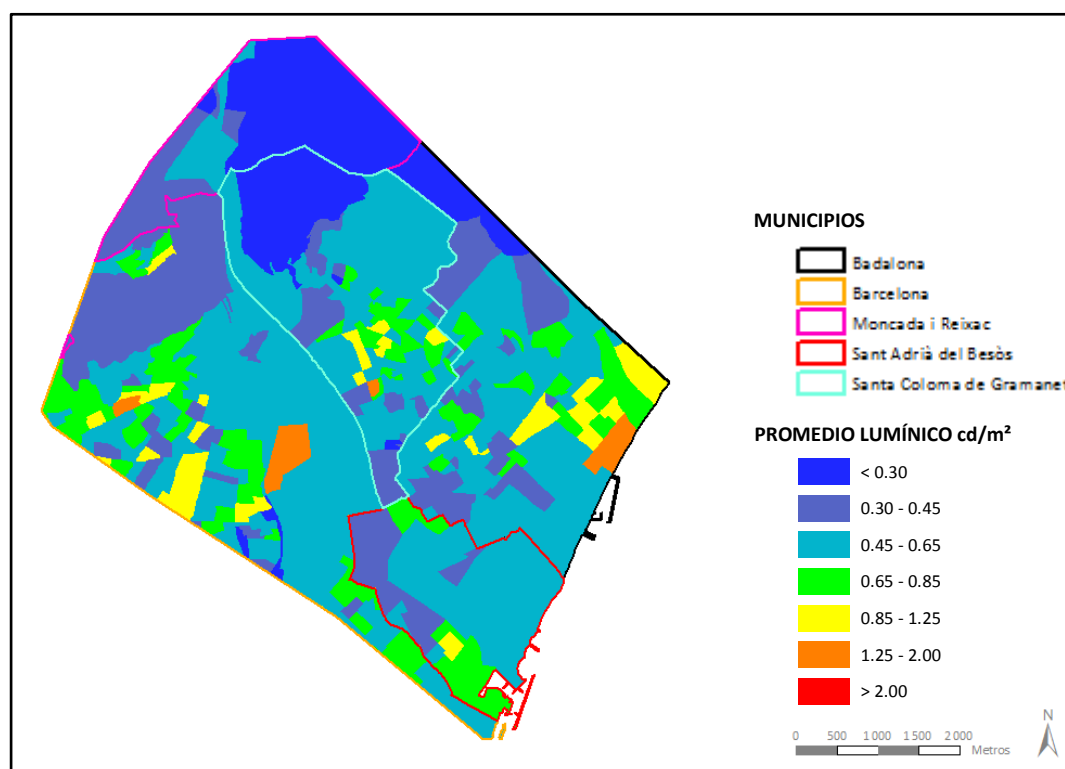
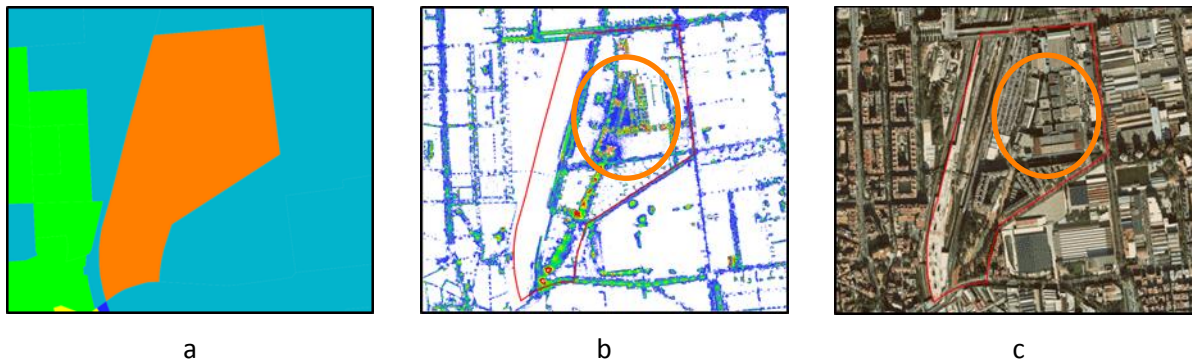
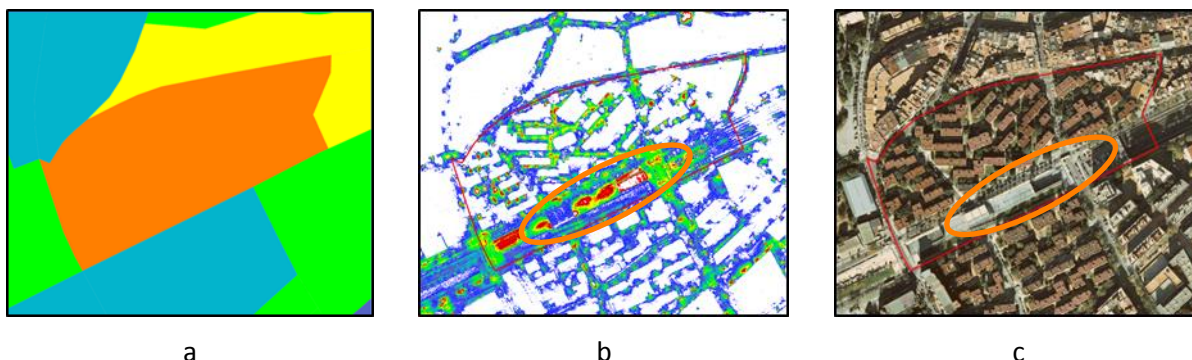


Ilustración 19. Intensidad lumínica promediada por censos municipales en el área de estudio.

Se observa 4 áreas que destacan por el alto valor promediado, entre 1.25 y 2 cd/m^2 , pese a encontrarse dentro del margen tolerable por el criterio establecido. Las áreas corresponden al complejo deportivo “Antoni Gelabert” (Ilustración 20) con parte de zona residencial en sus alrededores (promedio de 1.46 cd/m^2) y al centro comercial (Ilustración 21) “La Maquinista” (promedio de 1.27 cd/m^2) en Barcelona, a una plaza urbana, la Plaza de Pau Casals (Ilustración 22) en Santa Coloma de Gramanet (promedio de 1.29 cd/m^2) y una zona residencial pegada a la playa (Ilustración 23) en Badalona (promedio de 1.42 cd/m^2).



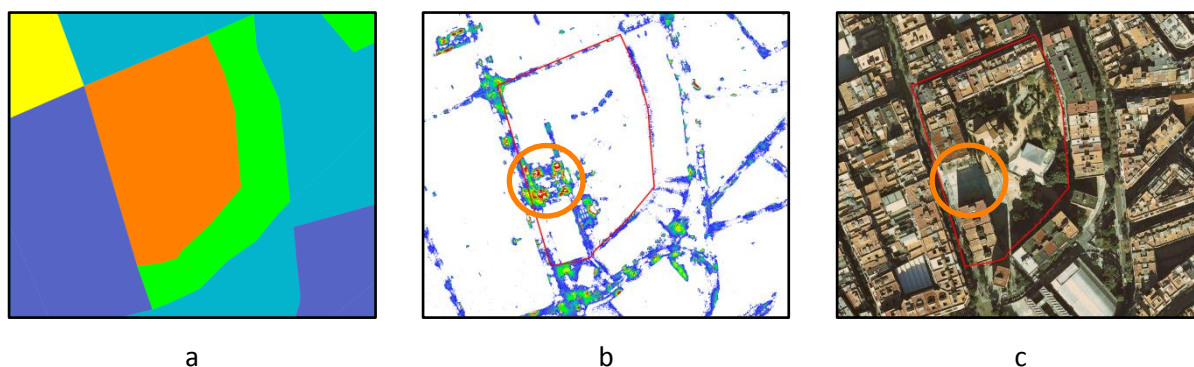


Ilustración 22. a) Detalle del censo municipal que contiene la Plaza Pau Casals en el mapa de promedios. b) Detalle del área de la Plaza Pau Casals y alrededores en el mapa de luminancia. c) Detalle del área de la Plaza Pau Casals y alrededores en la ortofoto de Cataluña.

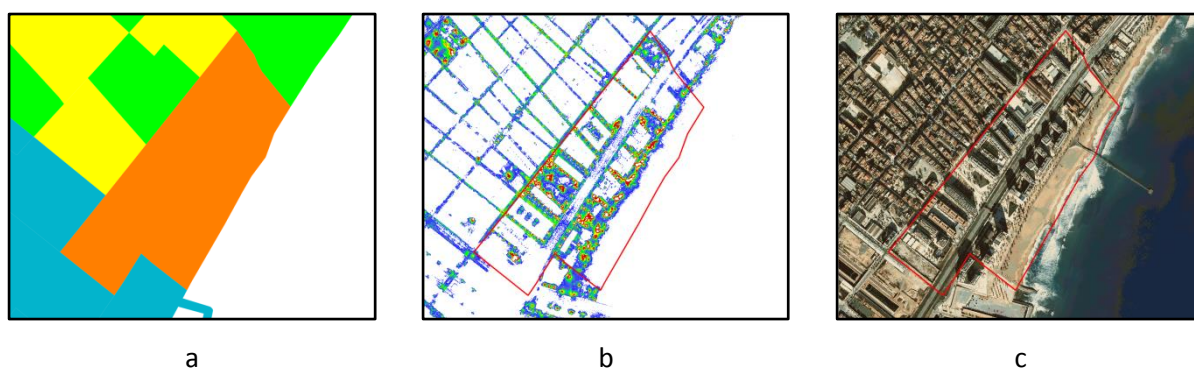


Ilustración 23. a) Detalle del censo municipal que contiene el área residencial en el mapa de promedios. b) Detalle del área de la zona residencial en el mapa de luminancia. c) Detalle del área de la zona residencial en la ortofoto de Cataluña.

La intensidad lumínica en Badalona se concentra en el casco urbano de la ciudad en calles, arterias urbanas y espacios abiertos (parques y plazas). Como ya se ha hablado anteriormente resalta un pico elevado del promedio de luminancia (*Ilustración 23*).

En el extremo norte de la zona de trabajo (Moncada i Reixac y parte de Barcelona), se acaba reiterando el presente análisis con el anterior (caso 1) volviendo a coincidir que se trata de una zona donde hay espacio natural, por lo tanto es oscura. Los valores oscilan entre 0 y 0.45 cd/m^2 .

No obstante, el barrio de Ciudad Meridiana se encuentra adentrado en la montaña dentro del límite territorial de Barcelona con una intensidad de iluminación elevada entre 0.65 y 1.25 cd/m^2 no acorde al entorno que lo rodea. Se trata de la zona comercial y ocio del barrio. En el resto de superficie se produce una distribución de luz con más intensidad en el centro urbano que va disminuyendo conforme te vas alejando y acercándote a los lindes municipales adjuntos. Cabe destacar las 2 áreas localizadas con un promedio elevado ya comentadas (*Ilustración 20 e Ilustración 21*).

Sant Adrià del Besòs es el término municipal con menos potencia lumínica del área de estudio. Es el municipio más pequeño. Tiene bastante actividad industrial poco iluminada y dispone de mucho espacio verde del que se hace un uso racional de la iluminación.

La mitad norte de Santa Coloma de Gramanet se muestra más oscura. Esta área corresponde a parte montañosa y en la zona residencial que linda con ella no concluye tanta actividad urbana. De lo contrario, despunta una parcela con alto valor de luz descrito al inicio de la sección (*Ilustración 22*).

Haciendo referencia a la totalidad de la zona de trabajo, la distribución de la intensidad lumínica responde a unos patrones de iluminación similares. Los polos de luz se encuentran en los centros urbanos, los centros comerciales y en complejos deportivos. La iluminación desciende según la funcionalidad y uso del territorio.

- **ÁREA DE ESTUDIO. ÁREAS DE LUZ.**

En la representación del mapa se expone el promedio de luz de las áreas iluminadas por puntos de máxima intensidad cercanos. Estas áreas son a una división del territorio más detallado que responden a puntos donde hay luz.

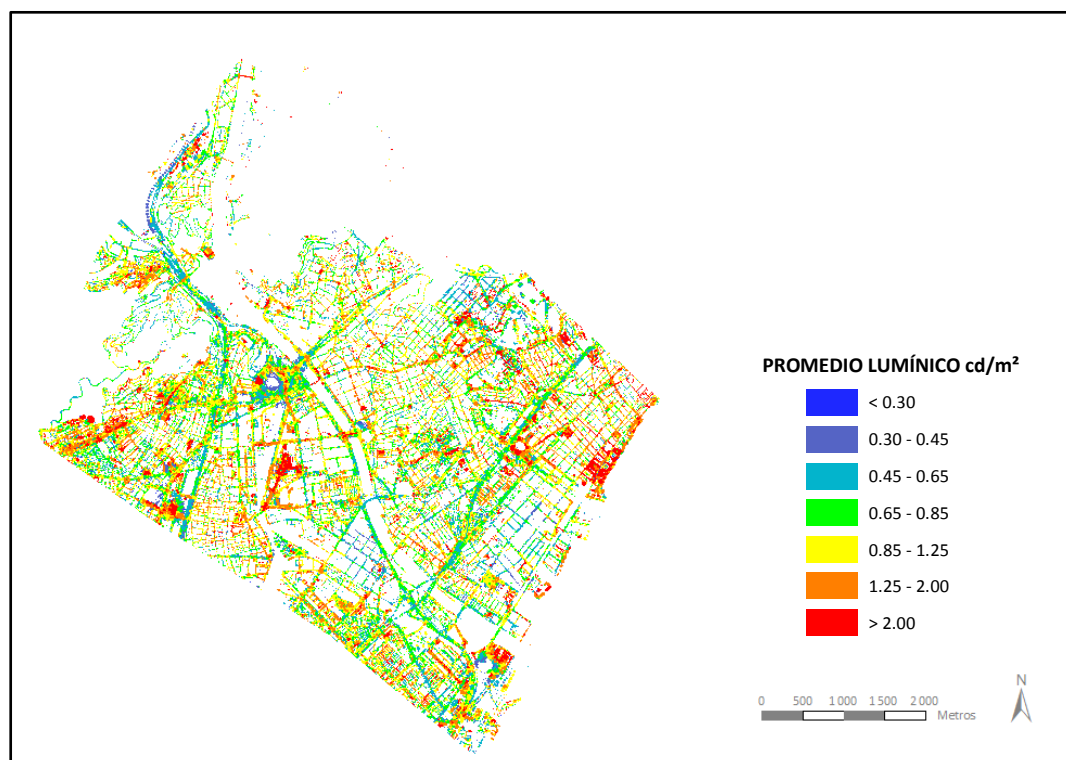


Ilustración 24. Intensidad lumínica promediada por áreas de luz en la zona de estudio.

En referente al cálculo del promedio realizado es aplicado sobre el alumbrado detectado.

Se consigue analizar de manera más exhaustiva las zonas de luz intensa que se perdían en la división de censos electorales ya que se promediaba con áreas más grandes.

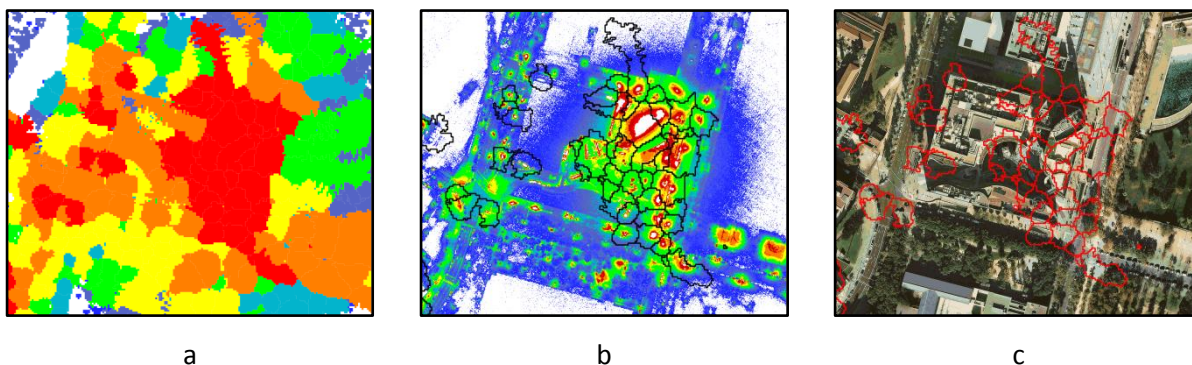


Ilustración 25. a) Detalle de las áreas de luz que contiene el centro comercial del Heron City en Barcelona en el mapa de promedios. b) Detalle de las áreas de luz el centro comercial del Heron City en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle de las áreas de luz el centro comercial del Heron City en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.

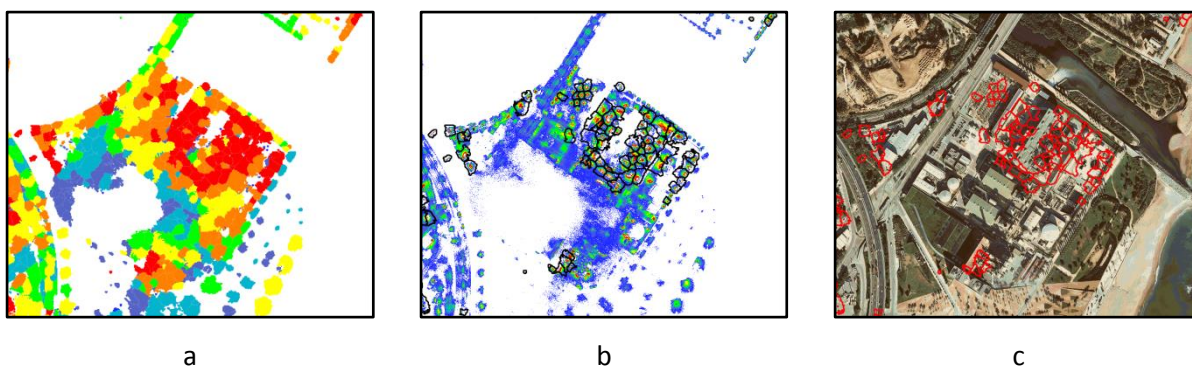


Ilustración 26. a) Detalle de las áreas de luz que contiene la Central Térmica Besós en Sant Adrià del Besòs en el mapa de promedios. b) Detalle de la Central Térmica Besós en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle de la Central Térmica Besós en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Cataluña.

En el mapa hay calles que muestran una mayor iluminación que pueden responder a políticas justificadas o simplemente están iluminadas haciendo un uso irracional de la energía eléctrica, es decir, existe exceso de luz. No hay diferencias significativas con las calles colindantes (Ilustración 27).

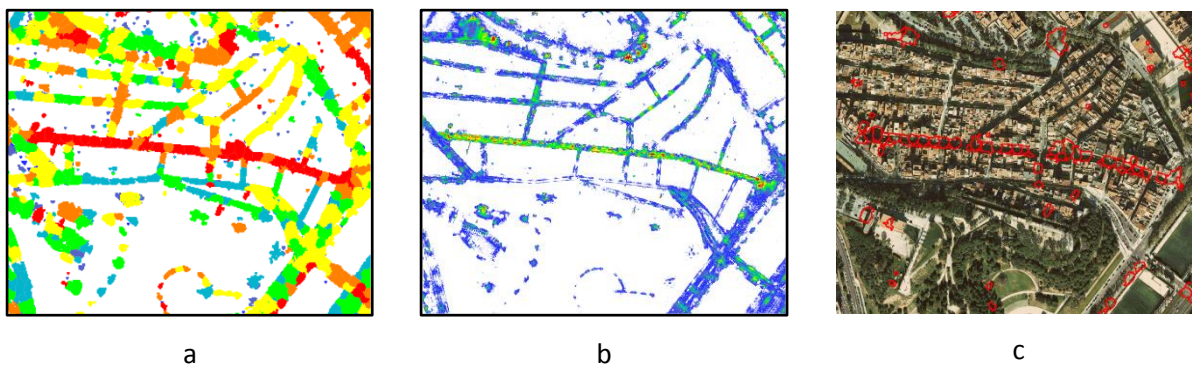


Ilustración 27. a) Detalle de las áreas de luz que contiene la calle Marià Benlliure en Badalona en el mapa de promedios. b) Detalle de la calle Marià Benlliure en Badalona en el mapa de luminancia. c) Detalle de la calle Marià Benlliure en Badalona en la ortofoto de Cataluña.

Una dificultad con la que nos encontramos al hacer el análisis territorial del mapa de luminancias es cuando se quiere extraer información estadística (básicamente promedios). El tamaño de las áreas dónde se realiza las estadísticas juegan un papel muy importante.

En una división política del territorio nos encontramos con parcelas de tamaño dispar donde promediar puede esconder/enmascarar algunos índices o características a mostrar.

Por lo contrario una parcelación muy fina nos lleva a detectar, quizá, demasiados detalles.

El obtener un tamaño adecuado de la división del territorio (o, quizá, otro procedimiento) puede ser crítico para poder realizar el análisis deseado del impacto de la luz con otras capas de información.

Hay que notar que el comportamiento de flujo luminoso tiene, o puede tener, unos máximos muy intensos que ocupan relativamente poca superficie y grandes superficies mostrando escasa luminancia. Básicamente esta es la casusa de la dificultad en encontrar un tamaño de división de territorio "adecuado".

9.3 CASO 3. ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA INTENSIDAD DE LUZ EN CALLES Y VÍAS PÚBLICAS.

Partiendo del actual concepto de ciudad o núcleo de población en general, la iluminación de sus vías es conveniente y muchas veces necesaria. En todo momento las calles y sus áreas adjuntas deben de proporcionar una iluminación adecuada, es decir, suficiente y uniforme para garantizar la seguridad vial.

En la determinación de una instalación para comprobar si es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como criterios de calidad y para indicar la propagación de la luz. En este caso particular se habla de luminancia media (L_m), de luminancia máxima ($L_{m\acute{a}x}$), de luminancia mínima ($L_{m\acute{i}n}$), de coeficiente de uniformidad global (U_o) y de la creación de un parámetro combinado que une el promedio con U_o (12).

El reglamento de eficiencia energética sobre el alumbrado exterior RD1890/08, regula la iluminación de carreteras y vías según su uso y características: ancho de vía, tipo de vía e intensidad de tráfico entre otros parámetros.

Todos los parámetros y características que se mencionan en el real decreto, no pueden ser analizados ya que no son observables desde el avión.

9.3.1 METODOLOGÍA

En la siguiente ilustración se muestra el flujo de datos y procesos empleados. Esta metodología se desarrolla en detalle a lo largo de la presente sección.

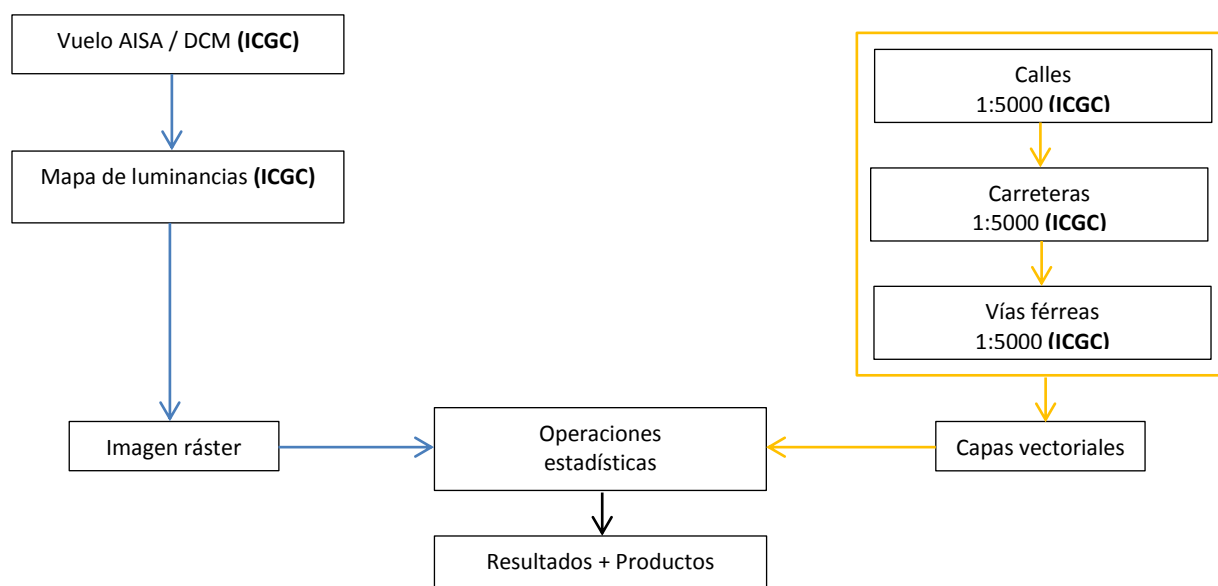


Ilustración 28. Esquema del procedimiento metodológico.Caso3.

9.3.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

9.3.2.1. OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Ver sección 9.1.1.1 OBTENCIÓN DE DATOS en la página 26.

Las capas vectoriales de las carreteras y vías férreas se extraen de la “Base topográfica de Cataluña” a escala 1:5000.

En cuanto a la capa vectorial de calles ha sido generada mediante operaciones ráster y vectoriales. De la “Base topográfica de Cataluña” con respecto a la zona de trabajo se elimina la hidrografía y la vegetación manteniendo la edificación. Esta selección en formato vectorial se exporta a formato ráster: este resultado es una máscara de edificaciones y áreas “no transitables” en el área de interés. Se genera una imagen como el complementario de esta máscara. Este nuevo ráster es la máscara de “zonas transitables”, es decir, las zonas que potencialmente podrían estar iluminadas. Esta nueva máscara se erosiona hasta obtener esqueleto de ejes de calles y ejes de áreas transitables (como parques y playas).

En la extracción de los datos estadísticos en los tramos de eje de calle es preciso dividir el eje en secciones. Estas secciones se han escogido de 10 metros. Secciones mayores podrían promediar demasiada información y mezclar en consecuencia secciones con características distintas. Secciones menores podrían entrar en resonancia con el espaciado de las farolas y mostrar artefactos que estén más relacionados con la distribución topológica de las farolas que con las características de iluminación de los tramos de calle. Como la conversión a vectorial del esqueleto de las zonas transitables es una colección de segmentos, para realizar las estadísticas de la iluminación de estos tramos se ha realizado un buffer del tamaño aproximado de un carril: 3 metros. Así las estadísticas de los tramos deberían ser representativas de la iluminación de la vía.

9.3.2.2. SOFTWARE

Para llevar a cabo los procesos descritos se ha utilizado el software:

- **ArcGis:** programa creado por ESRI (Environmental Systems Research Institute). Utilizado para visualizar resultados finales y para la representación de mapas (www.arcgis.com).
- **Qgis:** programa *open source* empleado en la obtención de resultados previos y en la realización de operaciones ráster (www.qgis.org).
- **GRASS:** (Geographic Resources Analysis Support System) es un software SIG bajo licencia GNU General Public License (**GPL**) que se visualiza a través del interfaz de Qgis. Usado en operaciones ráster y vectoriales.

9.3.2.3. GEOPROCESO DE DATOS

En el análisis geoespacial de la intensidad de propagación de la luz en calles y vías públicas se ha calculado variables estadísticas que permiten realizar operaciones para encontrar parámetros indicadores de luz.

Las variables estadísticas se obtienen del cruce entre los datos de luminancia y las capas vectoriales. Para llevar a cabo esta operación se desarrolla un procedimiento.

Procedimiento

1. Mediante la herramienta ráster (*Qgis: Ráster-Estadísticas zonales*) se intersecta la imagen de luminancias con las calles, las carreteras y las vías férreas. En este paso 1 son seleccionadas las variables estadísticas tales como, el promedio, el máximo y el mínimo para proceder al cálculo.
2. Como resultado se obtiene las variables estadísticas reflejadas en la tabla de atributos de las capas vectoriales intersectadas.
3. En la tabla de atributos se calcula el coeficiente de uniformidad global (U_o) y el parámetro combinado que une la luminancia media (L_m) con U_o mediante una operación condicional

$U_o = L_{\min}/L_m$	If ($U_o \geq 0.4$, if ($L_m \geq 0.5$, 1, 2), if ($L_m \geq 0.5$, 3, 4))
----------------------	---

4. Se analiza los resultados de la intensidad de propagación de la iluminación en las calles, las carreteras y las vías férreas.

Es necesario establecer varios criterios para la comprensión sobre el comportamiento de la luz. Este criterio se extrae de la recomendación de la guía práctica de niveles de iluminación según la UNE (11) en función del tipo de vía y uso (ver tabla en anexo).

Tabla 5. Leyenda de luminancia media (Lm) según los niveles de iluminación de la UNE.








	Luminancia media (Lm)
	< 0.30 cd/m ²
	0.30 - 0.45 cd/m ²
	0.45 - 0.65 cd/m ²
	0.65 - 0.85 cd/m ²
	0.85 - 1.25 cd/m ²
	1.25 - 2.00 cd/m ²
	> 2.00 cd/m ²

Tabla 6. Leyenda de luminancia media (Lm) según los niveles de iluminación de la UNE.








	Luminancia máxima (Lm _{máx})
	< 0.50 cd/m ²
	0.50 - 0.75 cd/m ²
	0.75 - 1.00 cd/m ²
	1.00 - 1.50 cd/m ²
	1.50 - 2.10 cd/m ²
	2.10 - 3.00 cd/m ²
	> 3.00 cd/m ²

Tabla 7. Leyenda del coeficiente de uniformidad global (U_o) según los niveles de iluminación de la UNE.







	Uniformidad global (U _o)
	0 - 0.30 (Desfavorable)
	0.30 - 0.50 (Aceptable)
	0.50 - 1 (Favorable)

Tabla 8. Leyenda del parámetro combinado según los niveles de iluminación de la UNE.

	Clase	Parámetro combinado
	1 Uniformidad	U _o ≥ 0.4 promedio ≥ 0.5
	2 Oscuridad	U _o ≥ 0.4 promedio < 0.5
	3 Variación severa de luz	U _o ≤ 0.4 promedio ≥ 0.5

9.3.2.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con el desarrollo del procedimiento metodológico se alcanzan los resultados sobre el comportamiento de la luz en calles, carreteras y vías férreas que se muestran a continuación.

- CALLES Y ZONAS TRANSITABLES

La representación de los parámetros indicadores de luz se visualiza en 3 mapas.

A. Distribución promediada de la intensidad de la luz en calles y zonas transitables segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 29*).

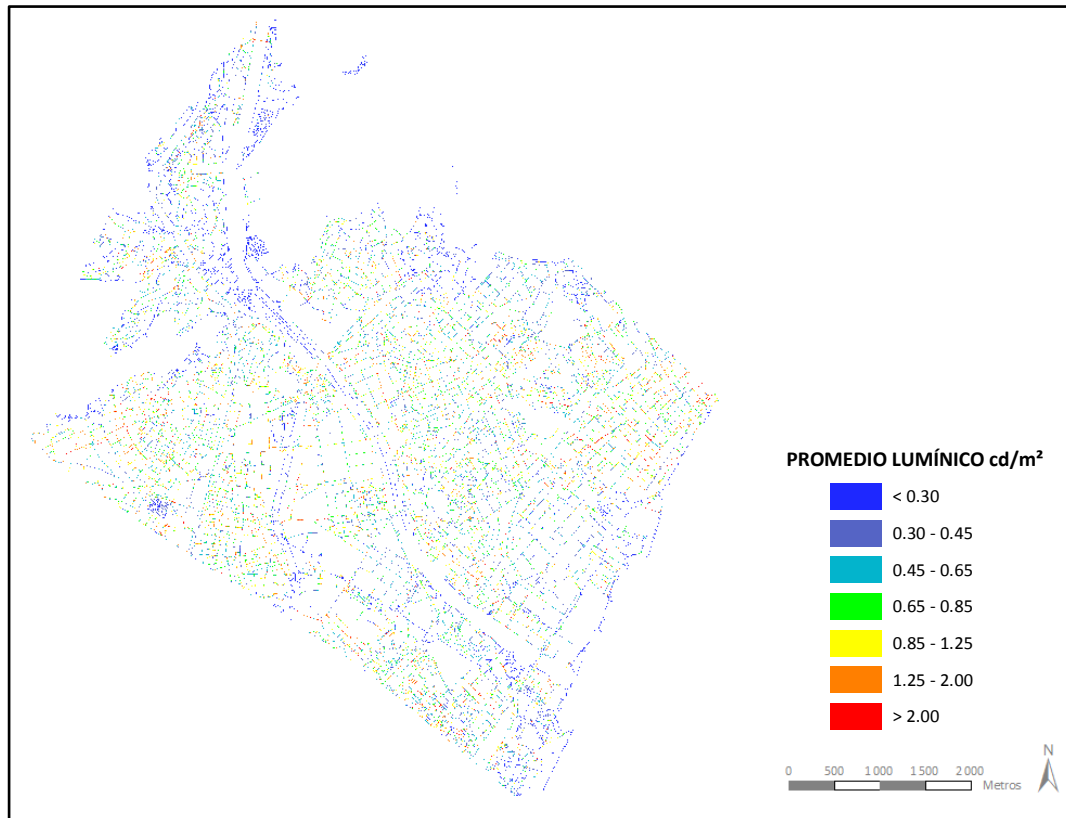


Ilustración 29. Promedio de la intensidad de la luz en calles y zonas transitables segmentadas en tramos de 10 metros.

En esta ilustración se puede observar que la oscuridad predomina en los extremos de la zona de trabajo. La parte norte son áreas residenciales adentradas en la montaña con poca actividad humana y además son áreas PCL máxima protección tipo E1 y E2, mientras que la parte sur limita con el mar y con áreas industriales en la que su entorno se muestra apenas iluminado. Hay que recordar que el vuelo se realizó fuera de horario comercial, motivo que justifica que las zonas de polígonos industriales estén predominantemente a oscuras.

También, toda la superficie que corresponde con caminos peatonales orientados al paseo a orilla del río, dispone de una iluminación poco intensa. Intensidad de iluminación que se ajusta a la clasificación de PCL 2.

En las calles más comerciales, que rodean el núcleo urbano, dominan niveles altos de intensidad lumínica. En este caso destaca la zona sureste de Badalona debido al potencial de luz aplicado en sus

viales produciéndose un contraste lumínico al aproximarse al área industrial con la que limita (*Ilustración 30*). Dentro de esta zona resalta un tramo de calle, de la avenida principal Alfonso XIII, entre el “Palau Municipal d’Esports” y el “Pavelló Municipal Països Catalans” con un promedio que supera el umbral del criterio establecido (*Ilustración 31*).

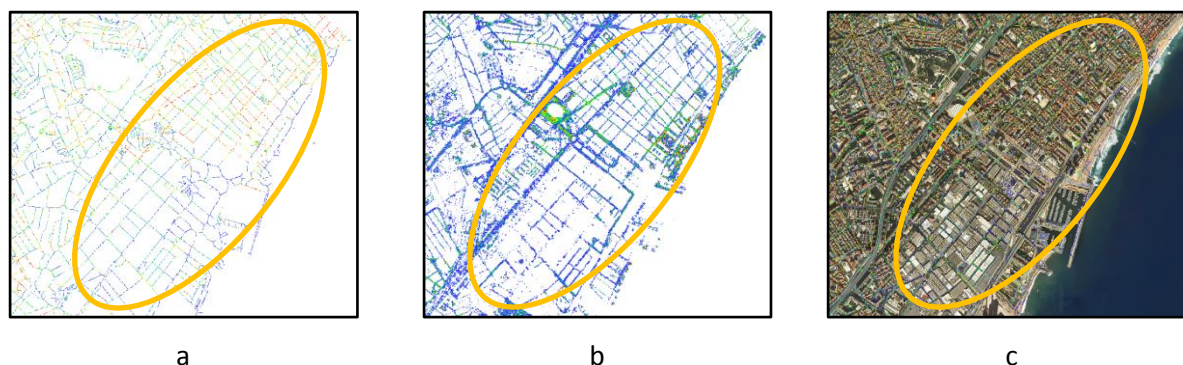


Ilustración 30. a) Detalle de un conjunto de calles en Badalona donde existe un contraste lumínico entre una zona con elevada intensidad luminosa junto con un área industrial poco iluminada en el mapa de promedios. b) Detalle de un conjunto de calles en Badalona donde existe un contraste lumínico entre una zona con elevada intensidad luminosa junto con un área industrial poco iluminada en el mapa de luminancia. c) Detalle de un conjunto de calles en Badalona donde existe un contraste lumínico entre una zona con elevada intensidad luminosa junto con un área industrial poco iluminada en la ortofoto de Cataluña.

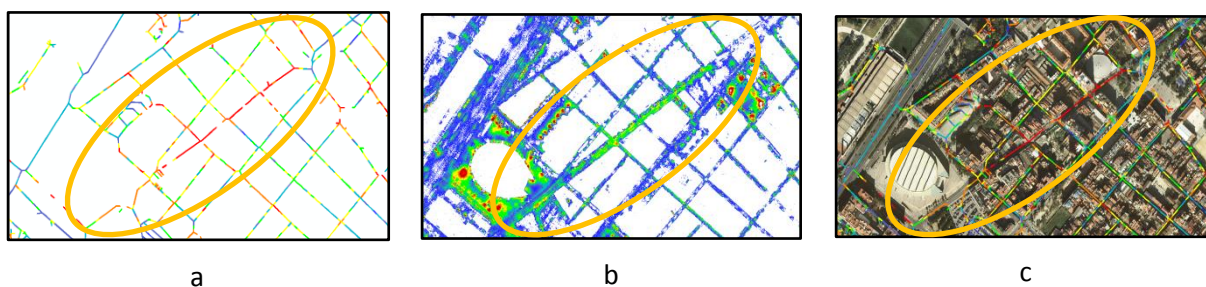


Ilustración 31. a) Detalle de un tramo de la Av. Alfonso XIII en Badalona que supera el criterio establecido sobre el promedio de intensidad luminosa en el mapa de promedios. b) Detalle de un tramo de la Av. Alfonso XIII en Badalona que supera el criterio establecido sobre el promedio de intensidad luminosa en el mapa de luminancia. c) Detalle de un tramo de la Av. Alfonso XIII en Badalona que supera el criterio establecido sobre el promedio de intensidad luminosa en la ortofoto de Cataluña.

B. Análisis del rendimiento visual en término del coeficiente global de uniformidad (U_o) en calles y zonas transitables segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 32*).

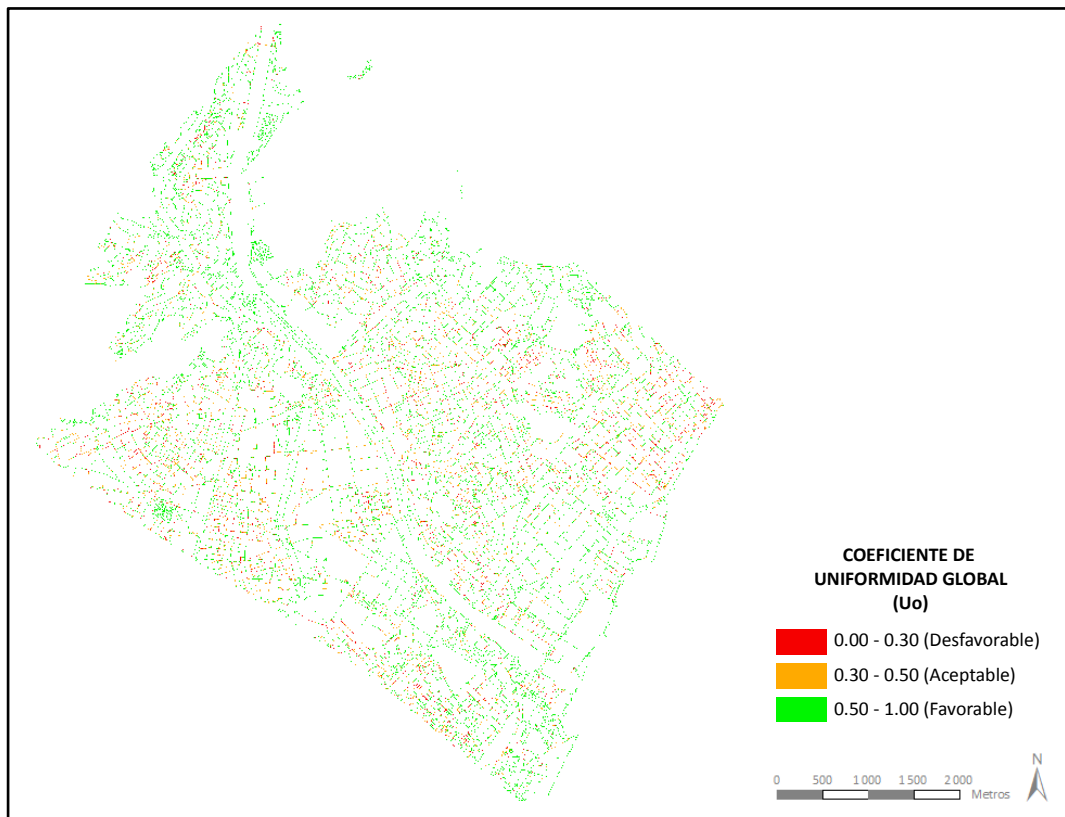


Ilustración 32. Rendimiento visual a través del coeficiente global de uniformidad en calles y zonas transitables segmentadas en tramos de 10 metros.

El índice de uniformidad nos proporciona una medida del rango de luminancias al que el ojo humano ha de acomodarse. Cuanto más cercana a 1 es la uniformidad, mejor podrá la visión humana ver los objetos iluminados en el campo de visión y cuanto más cercana a 0 sea la uniformidad, las zonas en el campo de visión con menos iluminación serán percibidas como si estuvieran en la oscuridad independientemente de la luminancia del punto.

El criterio de calidad que se viene analizando demuestra que en las zonas industriales que disponen una intensidad lumínica baja igual que en las áreas residenciales cercanas o que forman parte de espacios naturales se detecta un valor de uniformidad favorable. Es decir, zonas oscuras o escasamente iluminadas se muestran con uniformidad aceptable: el ojo humano podrá ver toda la escena con la misma iluminación.

Las carreteras urbanas tienen más potencia luminosa que el resto de las calles, dado que la mayor velocidad a la que circulan los vehículos requiere una iluminación que garantice la apropiada visión de la vía, es decir se requiere que peatones y conductores puedan ver/detectar los objetos en movimiento y obstáculos con fiabilidad.

En el mapa se observa uniformidad desfavorable en las zonas residenciales de uso activo (áreas comerciales, centros deportivos, zonas de ocio, etc.). Esto significa que hay variaciones de luz importantes que puede provocar deslumbramientos dificultando la acomodación del ojo humano al desplazarse.

C. Comportamiento lumínico a través del parámetro combinado que une la uniformidad global (U_o) y el promedio en calles y zonas transitables segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 33*).

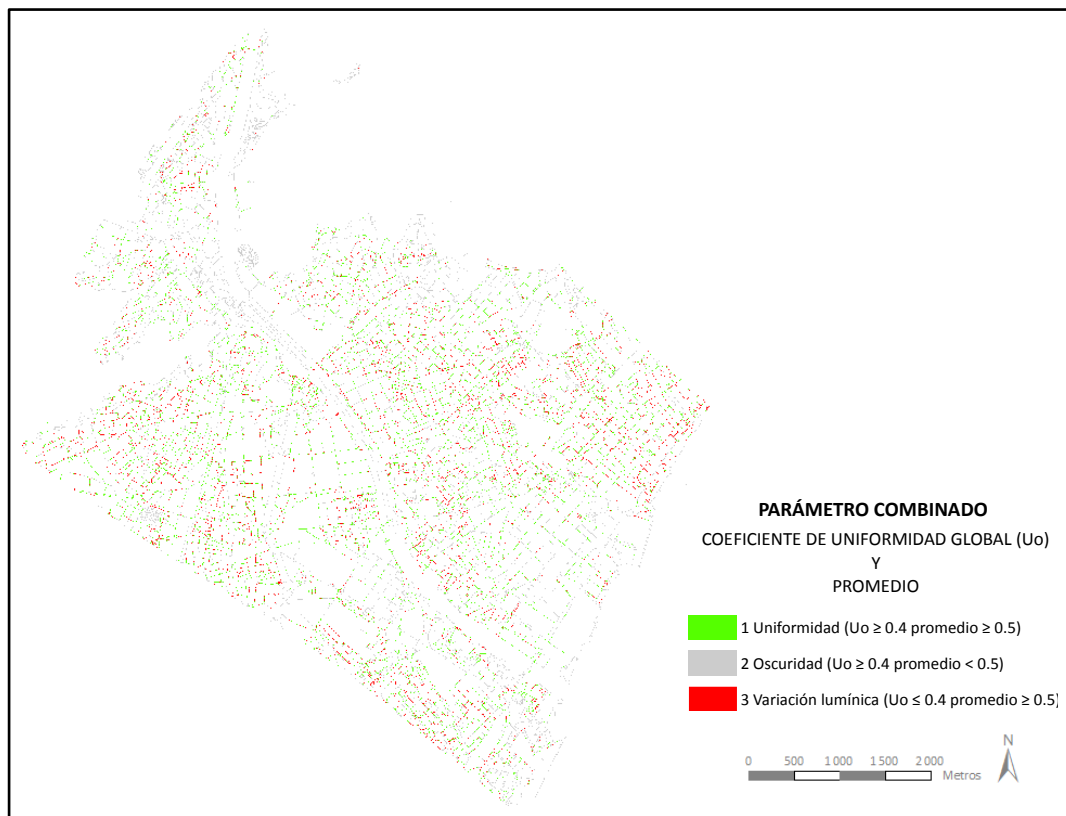


Ilustración 33. Comportamiento lumínico a través del parámetro combinado en calles y zonas transitables segmentadas en tramos de 10 metros.

En este punto se intenta generar un indicador que resuma los dos parámetros anteriores proporcionándonos una medida de calles o vías potencialmente iluminadas de forma no óptima. Se produce una actitud muy similar al análisis anterior (B) sobre el comportamiento de la luz.

En las áreas que se visualizan como clase 1 se confirma una uniformidad favorable con una intensidad lumínica aceptable. Estas son localizadas en zonas residenciales en las que se hace un uso racional de la energía disponiendo de un alumbrado que ilumina con una potencia adecuada y está bien orientado.

La clase 2 corresponde a zonas oscuras o de baja iluminación pero que tienen un coeficiente de uniformidad aceptable. Aparte de las áreas residenciales adentradas en la montaña y de los polígonos industriales rodeados de escasa iluminación de los que venimos hablando, se dan casos en los que se encuentra vegetación densa y no permite percibir la iluminación de las calles (*Ilustración 34*). También

puede resultar que el alumbrado pueda ser escaso o deficiente que potencialmente pueda alterar la seguridad vial.

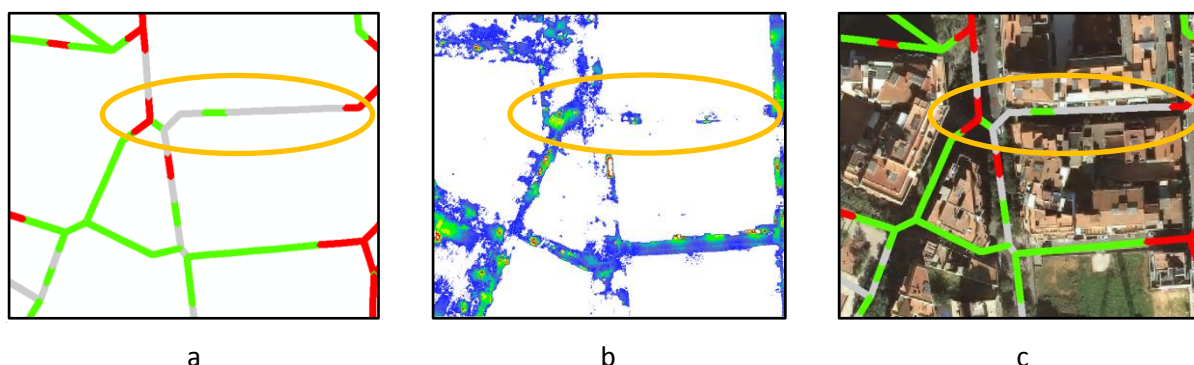


Ilustración 34. a) Detalle de la calle Valira en Barcelona cubierta por vegetación sin dejar percibir la luz real en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle de la calle Valira en Barcelona cubierta por vegetación sin dejar percibir la luz real en el mapa de luminancia. c) Detalle de la calle Valira en Barcelona cubierta por vegetación sin dejar percibir la luz real en la ortofoto de Cataluña.

La clase 3 indica segmentos de calles en donde hay cambios importantes de luz, es decir, se producen variaciones de intensidad lumínica en tramos de calle que puede provocar deslumbramientos. Este fuerte contraste luminoso puede suceder en la finalización brusca de tramos de alumbrado o en calles que contienen lámparas con mucha intensidad y su efecto sea de poca uniformidad (*Ilustración 35*).

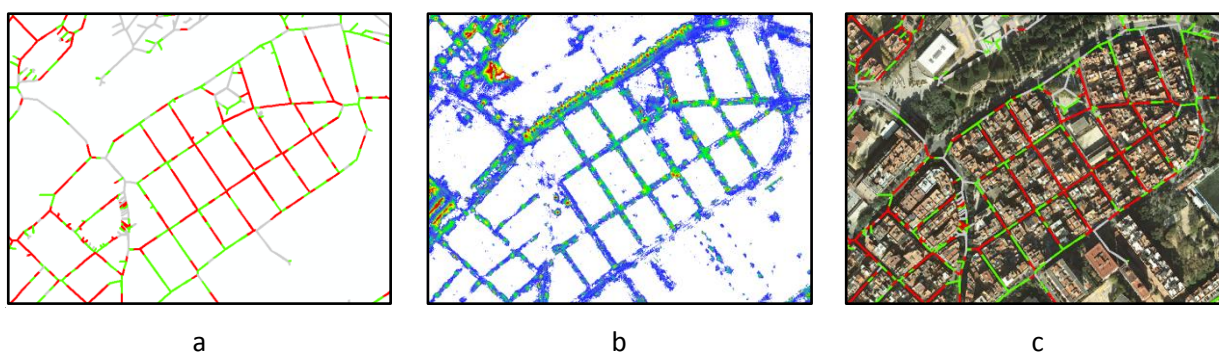


Ilustración 35. a) Detalle de una zona residencial en Badalona con variaciones de luz en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle de una zona residencial en Badalona con variaciones de luz en el mapa de luminancia. c) Detalle de una zona residencial en Badalona con variaciones de luz en la ortofoto de Cataluña.

Como consecuencia, segmentos de calles que tienen un promedio de iluminación aceptable pueden perder eficiencia al ser tramos poco uniformes. Es decir, a pesar de estar suficiente iluminados el ojo Humano puede ver zonas demasiado oscuras al aparecer en el campo de visión puntos altamente iluminados.

- CARRETERAS

La representación de los parámetros indicadores de luz se visualiza en 4 mapas.

D. Distribución promediada de la intensidad de la luz en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 36*).

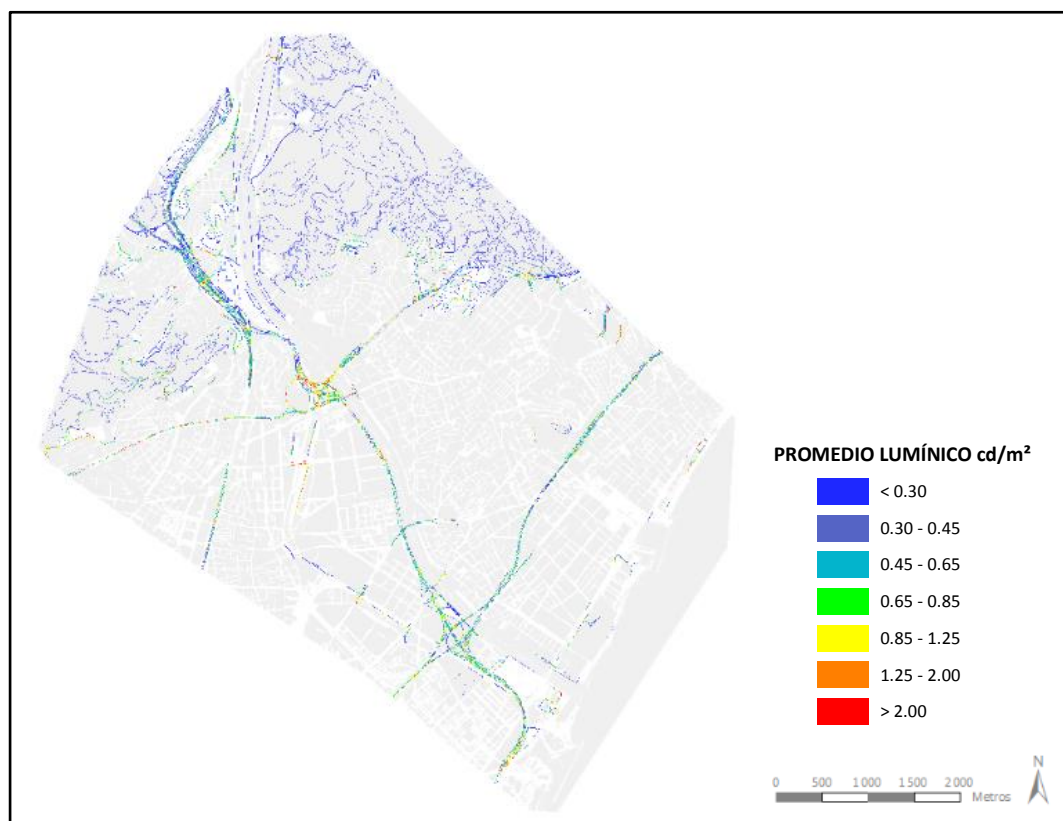


Ilustración 36. Promedio de la intensidad de la luz en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros.

La presencia del nudo de la Trinidad en Barcelona, formado por intersecciones y enlaces próximos a tramos de vía urbana, es destacable por la elevada intensidad luminosa que lo rodea sobrepasando el límite del criterio establecido para el comportamiento de la luz como puede comprobarse en la *Ilustración 37*. La iluminación influye de forma indirecta en factores determinantes desde el punto de vista del tráfico, como son la velocidad de circulación, la capacidad de la vía o la seguridad de la misma.

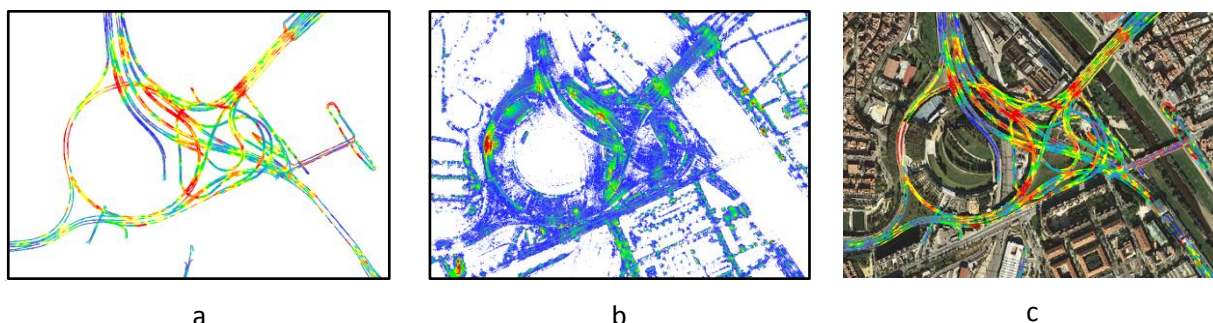


Ilustración 37. a) Detalle de la elevada intensidad luminosa del nudo de la Trinidad en Barcelona en el mapa de promedios. b) Detalle de la elevada intensidad luminosa del nudo de la Trinidad en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle de la elevada intensidad luminosa del nudo de la Trinidad en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.

Los caminos y carreteras rurales que aparecen en el extremo norte de la zona de trabajo, que forman parte de espacios naturales, son totalmente oscuros. Por debajo de las 0.35 cd/m^2 no se tiene sensibilidad visual como puede verse en el apartado b de la *Ilustración 38*.

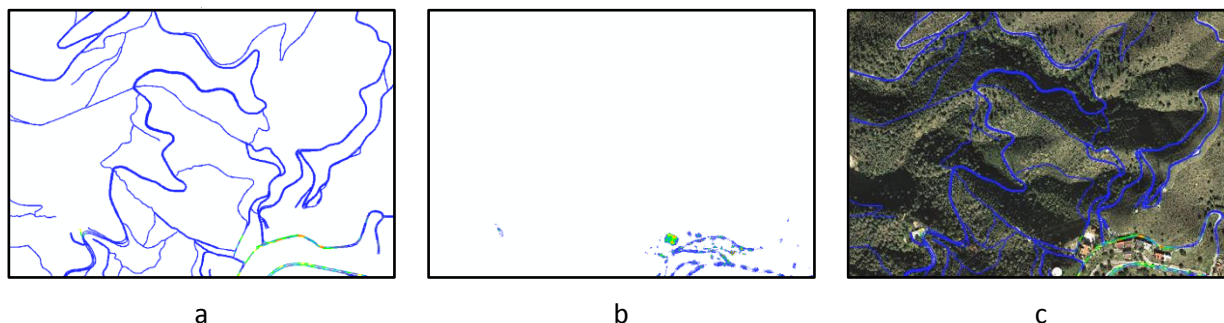


Ilustración 38. a) Detalle de la oscuridad en caminos y carreteras rurales en Santa Coloma de Gramanet en el mapa de promedios. b) Detalle de la oscuridad en caminos y carreteras rurales en Santa Coloma de Gramanet en el mapa de luminancia. c) Detalle de la oscuridad en caminos y carreteras rurales en Santa Coloma de Gramanet en la ortofoto de Cataluña.

El resto de vías como la C-31, autovía y autopista (*Ilustración 39*) y la B-10 (Ronda del litoral) desarrollan una potencia lumínica favorable y estable.

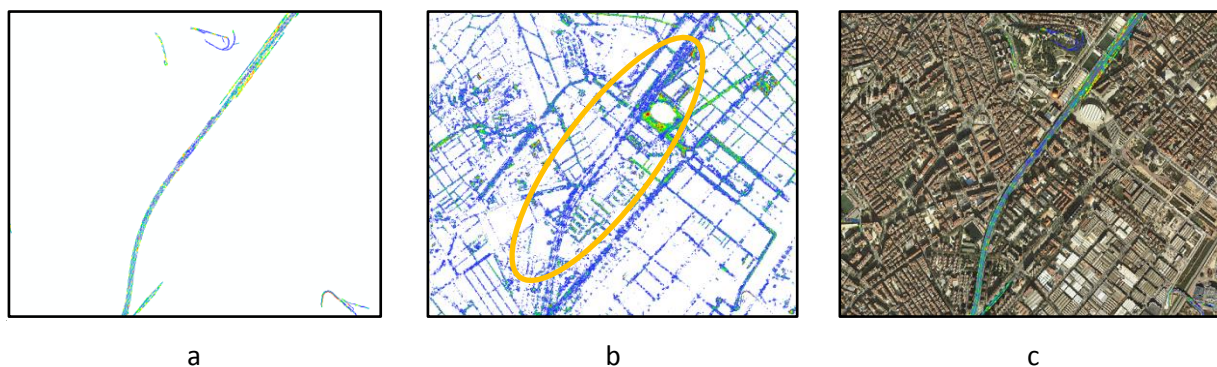


Ilustración 39. a) Detalle de la C-31 a su paso por Badalona en el mapa de promedios. b) Detalle de la C-31 a su paso por Badalona en el mapa de luminancia. c) Detalle de la C-31 a su paso por Badalona en la ortofoto de Cataluña.

E. Distribución máxima de la intensidad de la luz en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 40*).

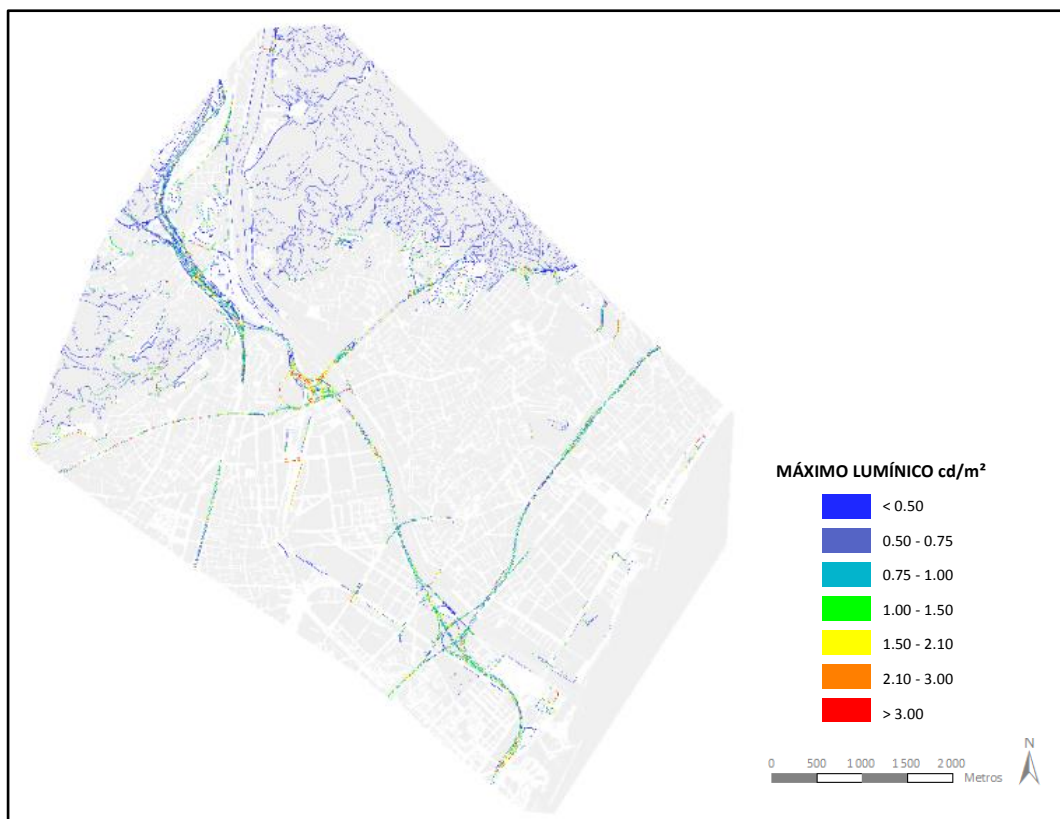


Ilustración 40. Máxima intensidad lumínica en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros.

Los caminos y carreteras rurales no sufren variación lumínica en el análisis de luminancia máxima al tratarse de zonas oscuras.

En mitad de la oscuridad a la que se ha hecho referencia cabe resaltar las autopistas, C-33 y C-58, y la autovía, C-17, al intersectar con el paso superior de la calle Castelldefels en Barcelona habilitado para coches y peatones. En este punto, el paso superior muestra una intensidad lumínica razonable pero al ser rodeado del alumbrado de las carreteras que cruzan a nivel inferior se intensifica la iluminación en un área de influencia de 50 mts (*Ilustración 41*).

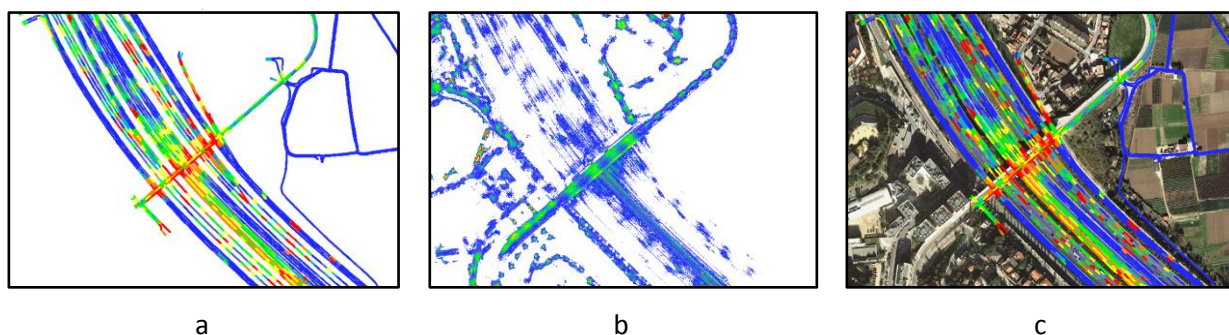


Ilustración 41. a) Detalle del paso superior de la calle Castelldefels en Barcelona en el mapa de máximos. b) Detalle del paso superior de la calle Castelldefels en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle del paso superior de la calle Castelldefels en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.

El cruce de carreteras más reconocido, el nudo de la Trinidad, continua siendo destacable ya que se intensifica la potencia lumínica en todo su trazado.

Dentro de la zona de trabajo hay otro nudo de carreteras (*Ilustración 42*), en el que se cruzan entre otras la C-31 y la B-10, que cobra importancia en términos de luminosidad máxima ya que muestra picos por encima del umbral recomendado según la UNE que en los niveles medios del punto anterior (D) no superaba.

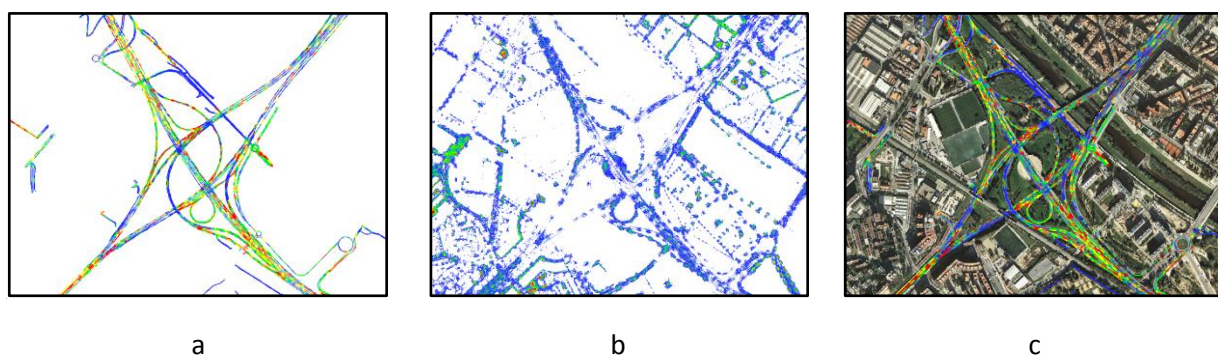


Ilustración 42. a) Detalle del nudo de carreteras que cruzan la C-31 y la B-10 en Sant Adrià del Besòs en el mapa de máximos. b) Detalle del nudo de carreteras que cruzan la C-31 y la B-10 en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle del nudo de carreteras que cruzan la C-31 y la B-10 en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Cataluña.

F. Análisis del rendimiento visual en término del coeficiente global de uniformidad (U_o) en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 43*).

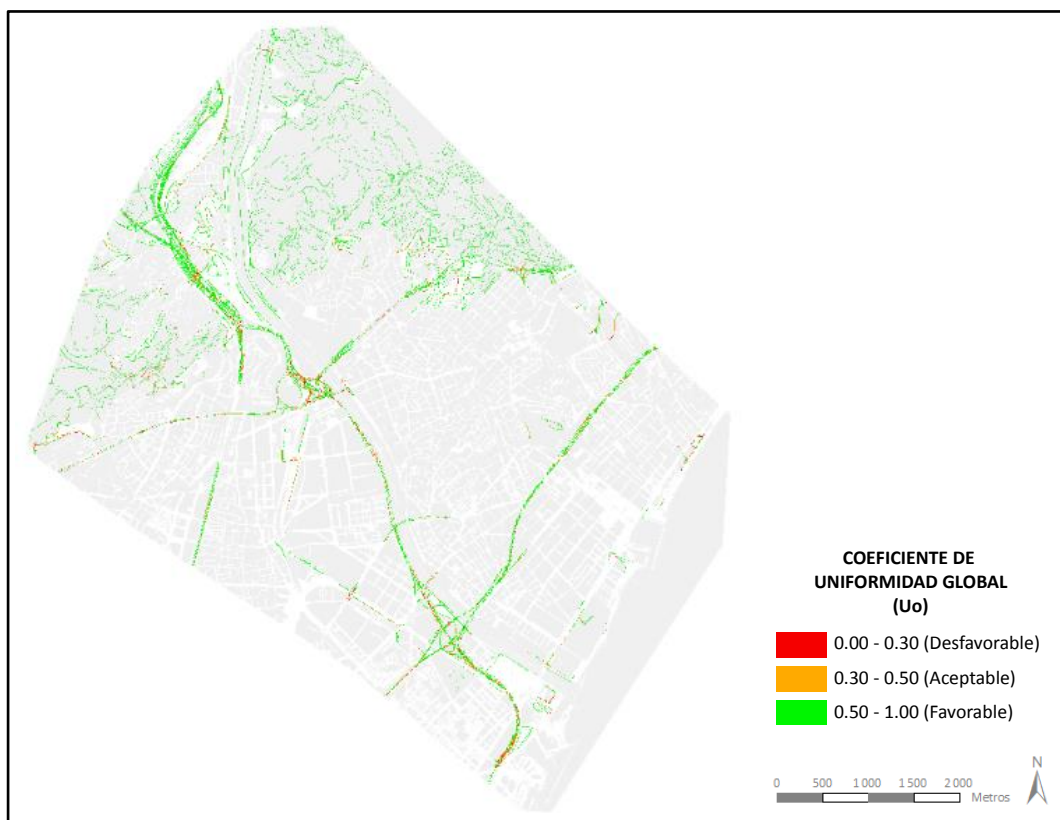


Ilustración 43. Rendimiento visual a través del coeficiente global de uniformidad en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros.

A nivel general en la zona de estudio predomina una uniformidad global favorable que corresponde al grupo que contiene el coeficiente entre 0.50 y 1. Esta uniformidad viene dada por las autopistas (C-33 y C-58) y autovía (C-17) que junto con los caminos y carreteras rurales se localizan en un entorno montañoso.

Pese a que apenas se observa cambios notables de luz, se acentúa la figura del nudo de la Trinidad debido a que dispone del mayor número de tramos que indican una uniformidad desfavorable los cuales ya resaltaban anteriormente por los valores elevados en la distribución promediada de la intensidad lumínica. Este caso es coincidente en todos los cruces e intersecciones que forman parte del área de estudio.

Por otro lado, también deja huella de poca uniformidad el paso superior de la calle Castelldefels mencionado anteriormente y un par de pasillos dentro de la Hidroeléctrica de Cataluña.

En las vías surgen tramos muy dispersos y nada uniformes que pueden resultar que el alumbrado esté separado y se intensifique la luz para abarcar un mayor radio de luminancia o incluso que se trate de un vehículo en movimiento.

G. Comportamiento lumínico a través del parámetro combinado que une la uniformidad global (U_o) y el promedio en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 44*).

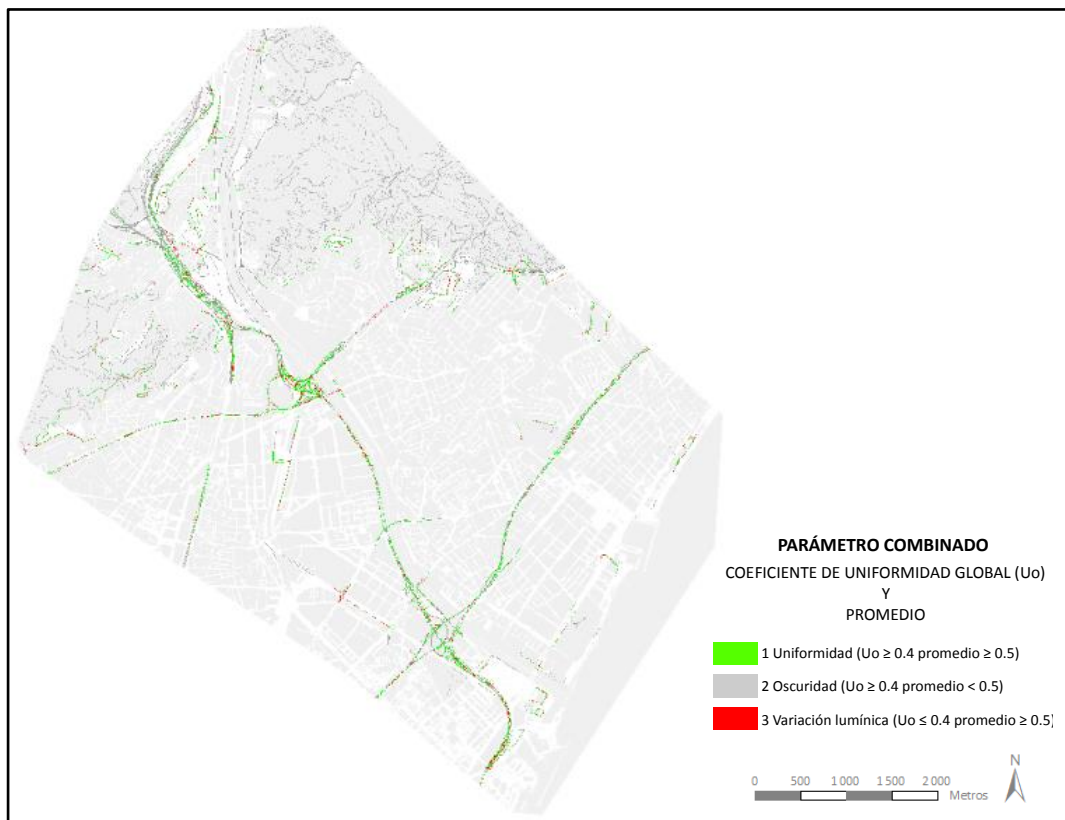


Ilustración 44. Comportamiento lumínico a través del parámetro combinado en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros.

Las carreteras que se encuentran más cercanas a los polos urbanos (vías con mucha intensidad de tráfico) se visualizan entre clase 1 y clase 2. Esto significa que hay tramos con una mínima o ninguna presencia de luz y tramos en los que se detecta una magnitud luminosa aceptable y se distribuye de manera uniforme (*Ilustración 45*).

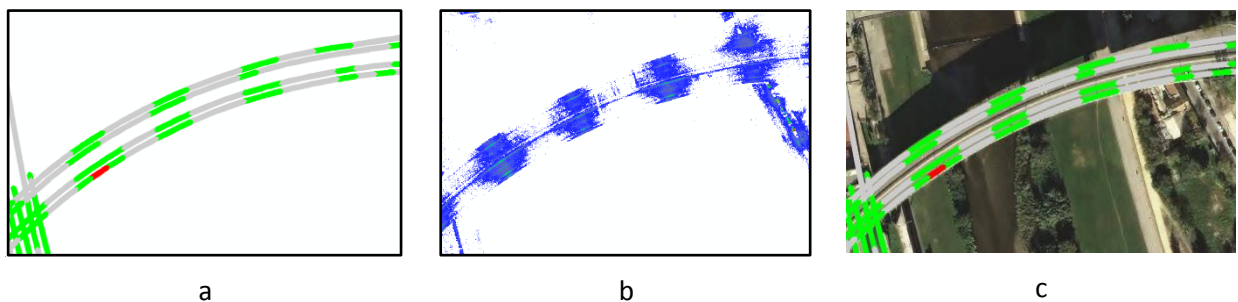


Ilustración 45. a) Detalle del "Pont del Molinet" en Santa Coloma de Gramanet en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle del "Pont del Molinet" en Santa Coloma de Gramanet en el mapa de luminancia. c) Detalle del "Pont del Molinet" en Santa Coloma de Gramanet en la ortofoto de Cataluña.

La uniformidad favorable que se muestra en el apartado F aparece en el presente análisis como clase 2 en el que se observa oscuridad. Forma parte de la clase 2 toda la superficie oscura o con poca iluminación que corresponde a toda la zona norte del estudio, caminos y carreteras rurales, en la que se pone en práctica la utilización lógica del alumbrado donde no interviene derroche energético y se respeta los espacios naturales. También pertenece a este grupo el segundo nudo de carreteras importante del área de trabajo con algún tramo de vial de un par de carreteras adjuntas.

Las intersecciones y las construcciones viales que facilitan los cruces de caminos están dentro de la clase 3. Se producen contrastes lumínicos debido a las variaciones severas de luz pudiendo provocar posibles deslumbramientos. En el ejemplo de la *Ilustración 46* se comprueba que al salir de un cruce a oscuras te incorporas a una vía con una iluminación muy elevada.

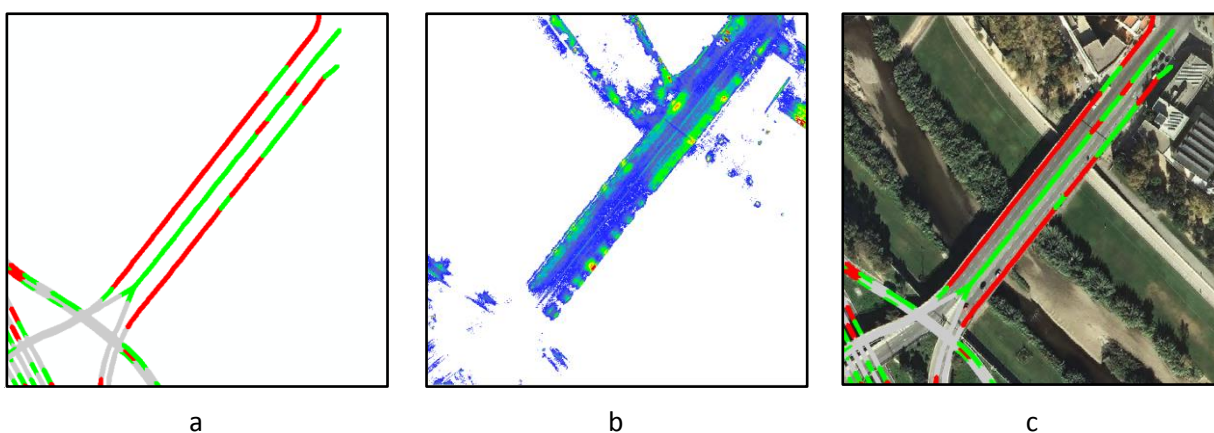


Ilustración 46. a) Detalle del puente de la Av. Pi i Margall en Sant Adrià del Besòs en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle del puente de la Av. Pi i Margall en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle del puente de la Av. Pi i Margall en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Catalunya.

- VÍAS FÉRREAS

La representación de los parámetros indicadores de luz se visualiza en 4 mapas.

H. Distribución promediada de la intensidad de la luz en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 47*).

En el mapa se visualiza diferentes tipos vías de transporte ferroviario que corresponden a Renfe, a tranvía y a ferrocarriles.

Las vías de Renfe igual que las de ferrocarril se muestran totalmente oscuras. Las luces de las que se dispone son las señales ferroviarias que tienen el objetivo de guiar el tráfico y comunicar al maquinista el estado de la vía conforme avanza.

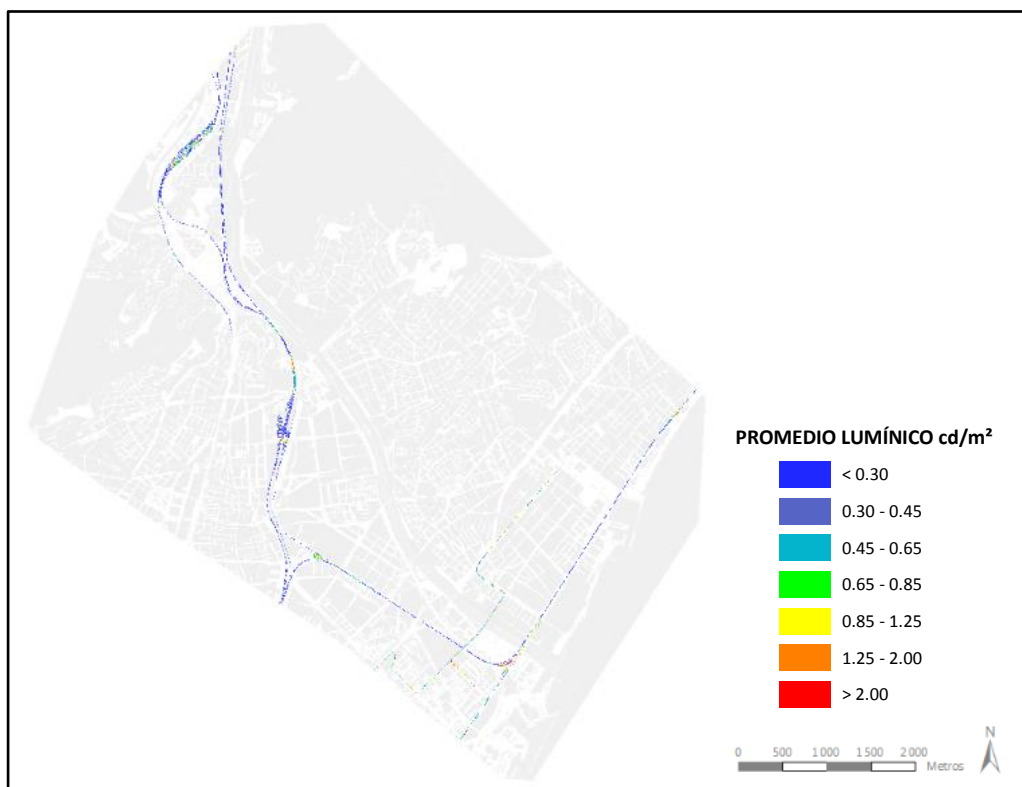


Ilustración 47. Promedio de la intensidad de la luz en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros.

Sin embargo, a lo largo del trazado se observa en varios tramos niveles de intensidad lumínica más elevados. En primer lugar, comenzando del extremo norte hacia abajo, se muestra una playa de vías que pertenece a unos talleres de Renfe (Ilustración 48). En los talleres duermen los trenes y pasan revisiones lo que implica una actividad laboral las 24 horas en la que se necesita visibilidad para moverse entre vías.

En segundo lugar, hay tramos que por trazado pasan por debajo de carreteras en los cuales se detecta potencia lumínica (Ilustración 49). El área de influencia del alumbrado que proviene de las carreteras al intersectar con las vías férreas provoca que aumente los niveles de luz.

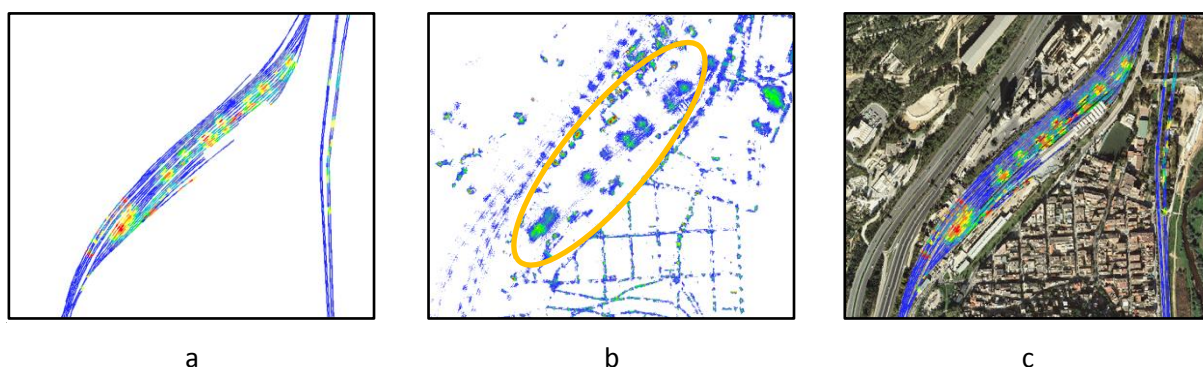


Ilustración 48. a) Detalle de la playa de vías en los talleres de Renfe en Moncada i Reixac en el mapa de promedios. b) Detalle de la playa de vías en los talleres de Renfe en Moncada i Reixac en el mapa de luminancia. c) Detalle de la playa de vías en los talleres de Renfe en Moncada i Reixac en la ortofoto de Cataluña.

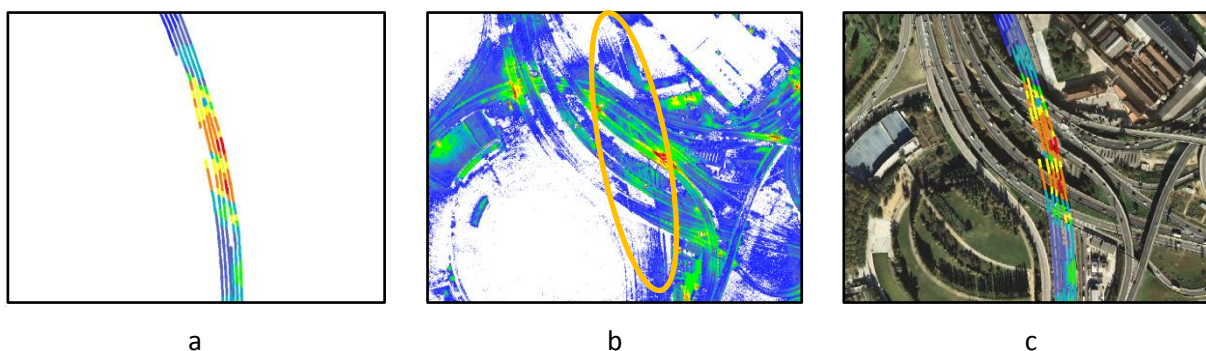


Ilustración 49. a) Detalle de las vías de Renfe cruzando por debajo del nudo de la Trinidad en Barcelona en el mapa de promedios. b) Detalle de las vías de Renfe cruzando por debajo del nudo de la Trinidad en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle de las vías de Renfe cruzando por debajo del nudo de la Trinidad en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.

En cuanto a las vías férreas urbanas del Tranvía aparecen iluminadas. Estas vías comparten superficie con vehículos y peatones, es por esto que existe la necesidad de garantizar seguridad viaria incorporando alumbrado público. No obstante, no significa que este alumbrado tenga que ser potencialmente intenso emitiendo luz como sucede en la Rambla de la mina en Sant Adrià del Besòs donde destacan algunos picos superando el límite recomendado (*Ilustración 50*).

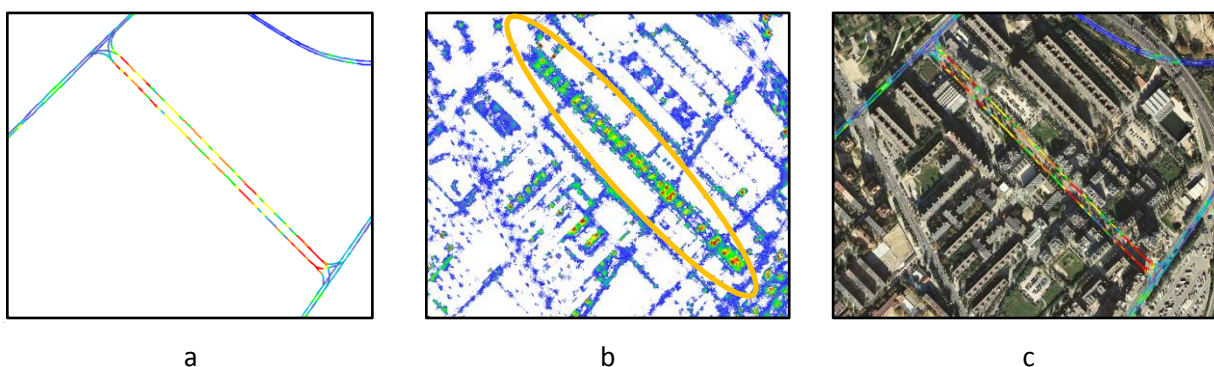


Ilustración 50. a) Detalle del tranvía a su paso por Rambla de la mina en Sant Adrià del Besòs en el mapa de promedios. b) Detalle del tranvía a su paso por Rambla de la mina en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle del tranvía a su paso por Rambla de la mina en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Cataluña.

Igual que en las vías de Renfe, se repite el caso en el que se eleva los niveles de luminosidad por encima del criterio establecido en unos talleres para Tranvías donde hay actividad humana (*Ilustración 51*).

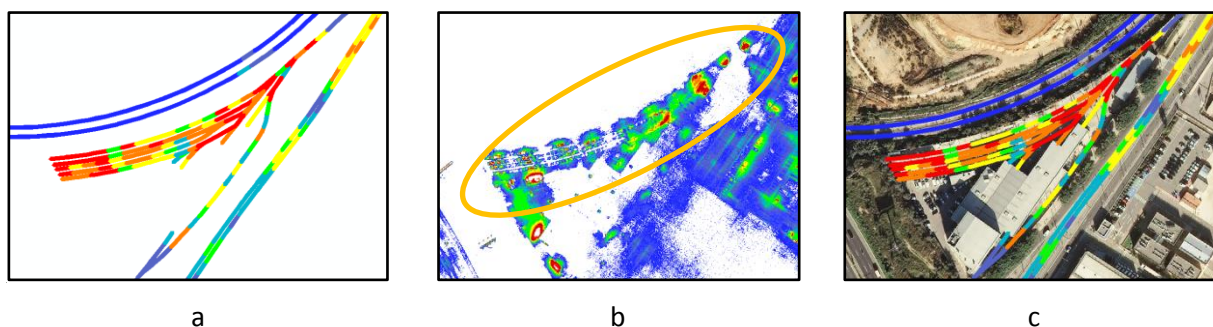


Ilustración 51. a) Detalle del taller de tranvías en Sant Adrià del Besòs en el mapa de promedios. b) Detalle del taller de tranvías en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle del taller de tranvías en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Cataluña.

I. Distribución máxima de la intensidad de la luz en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros (Ilustración 52).

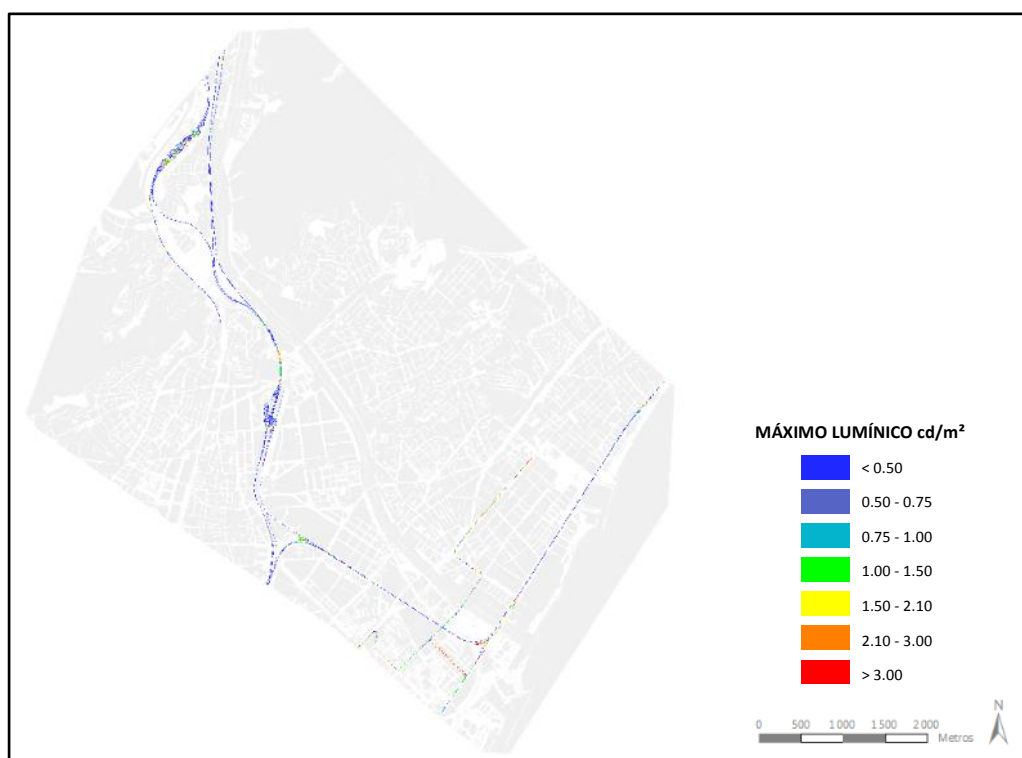


Ilustración 52. Máxima intensidad lumínica en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros.

En este análisis se produce un comportamiento en la distribución de la luz muy similar al apartado anterior H.

Las zonas (talleres de reparación de vehículos ferroviarios, cruce de vías próximo a carreteras y bulevar) que previamente se han resaltado por contener niveles altos de intensidad lumínica ahora en el mapa de máximos aumenta el número de tramos localizados con picos que en la mayoría de los casos superan el doble del valor establecido.

J. Análisis del rendimiento visual en término del coeficiente global de uniformidad (U_o) en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 53*).

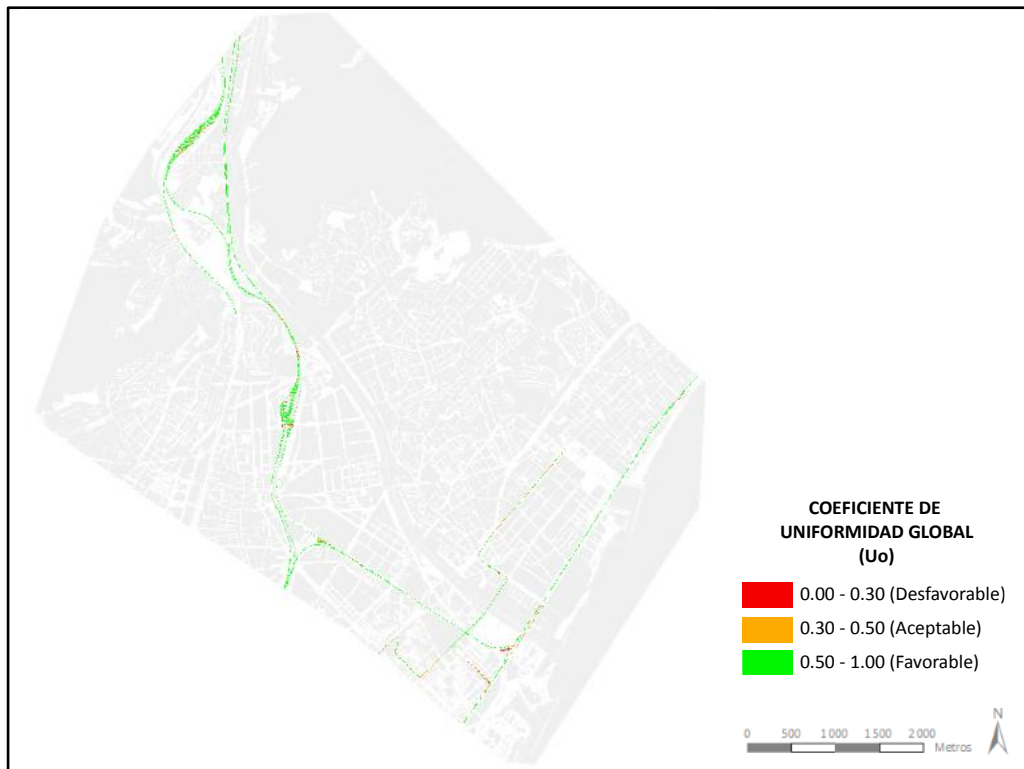


Ilustración 53. Rendimiento visual a través del coeficiente global de uniformidad en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros.

Todo el trazado de vías muestra una uniformidad global muy favorable ya que gran parte de la superficie a la que se hace referencia permanece a oscuras. No es necesario el alumbrado para la funcionalidad de la vía en el caso de Renfe. En las vías urbanas del tranvía resulta primordial la iluminación exterior de la que se hace uso de manera razonable salvo en el tramo de calle de la Rambla de la mina (*Ilustración 50*) que está más orientado al peatón y se observa mucha potencia lumínica.

Las variaciones fuertes de luz se mantienen en las áreas de mantenimiento de los vehículos ferroviarios y en los cruces de vías próximos a carreteras urbanas comentadas anteriormente (apartado H).

K. Comportamiento lumínico a través del parámetro combinado que une la uniformidad global (U_o) y el promedio en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros (*Ilustración 54*).

Las vías que están iluminadas sostienen un comportamiento de luz aceptable en gran parte del trazado clasificándose como clase 1. Esto supone que mantienen una uniformidad favorable sin excederse del promedio de iluminación establecido.

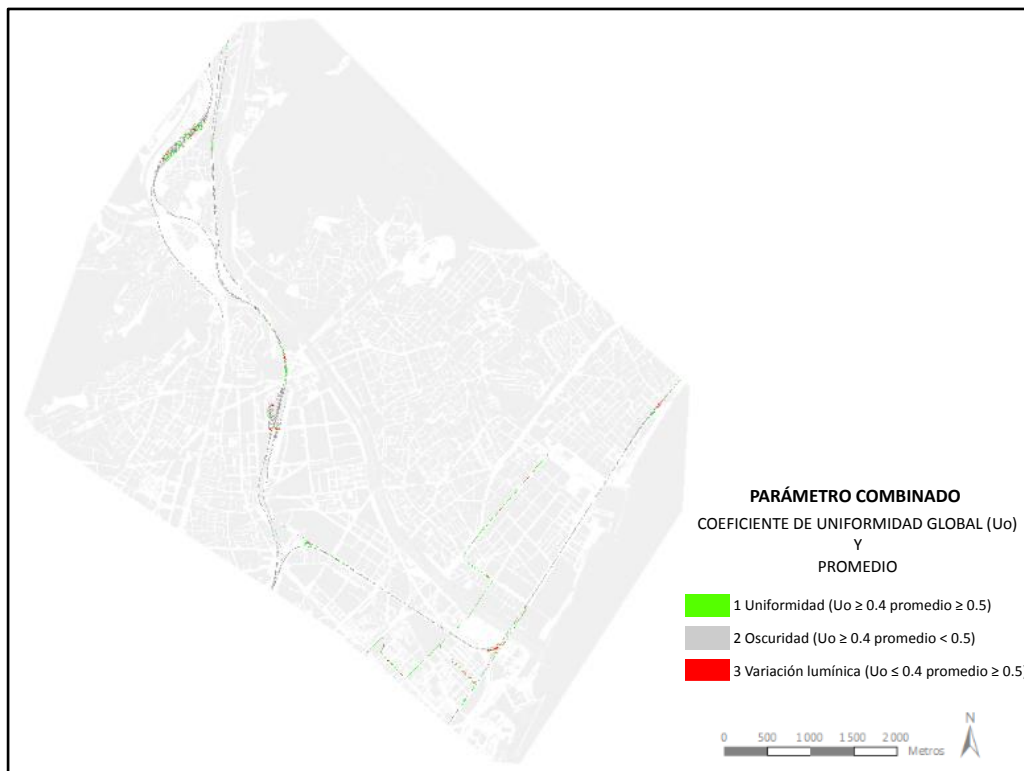


Ilustración 54. Comportamiento lumínico a través del parámetro combinado en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros.

Debido al elevado porcentaje que se encuentra sin luz en la zona de estudio, en términos de iluminación férrea, esta superficie recibe la categoría de clase 2 (zonas oscuras). Se corresponde con las vías de tren y ferrocarril (Ilustración 55).

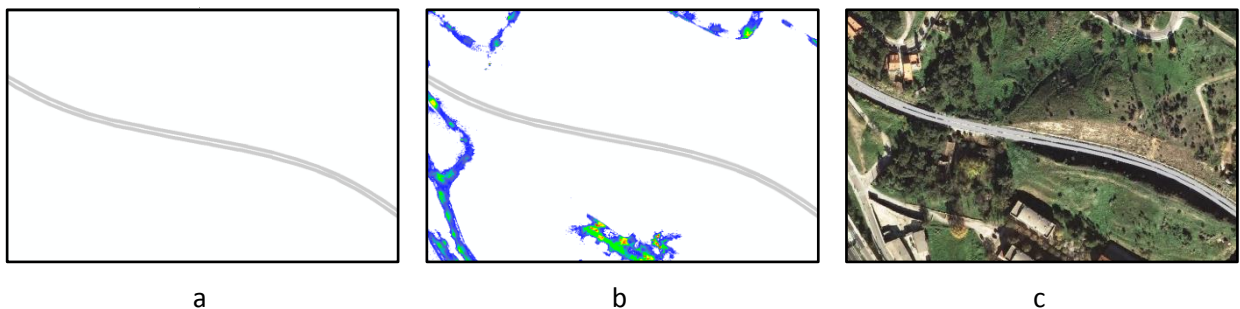


Ilustración 55. a) Detalle de las vías oscuras de ferrocarril al paso por Vallbona en Barcelona en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle de las vías oscuras de ferrocarril al paso por Vallbona en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle de las vías oscuras de ferrocarril al paso por Vallbona en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.

Por último, el mapa deja ver zonas en las que la uniformidad global es desfavorable y a su vez la intensidad lumínica promediada sobrepasa el criterio establecido. El resultado provoca diferencias de potencial luminoso creando factores de riesgo como el deslumbramiento y malestar visual en el ojo humano. Contando con las áreas de mantenimiento ferroviario, la zona más destacable es la Rambla de

la mina donde hay movimiento peatonal. El resto de trazado muestra un menor número de tramos en los que se aprecia algunos picos dispersos de variación de luz.

10 CONCLUSIONES

La principal conclusión extraída tras la elaboración del presente documento es que, este producto representa una herramienta valiosa a disposición de las administraciones públicas o entidades con competencia en la materia, para realizar un seguimiento de cualquier acción adoptada tanto desde el punto de vista de la gestión de iluminación urbana como de su efectividad en términos de eficiencia energética.

El análisis cualitativo de la iluminación según PCL, muestra que el total de área iluminada es consistente con la clasificación PCL, pero en las zonas iluminadas la distribución de la iluminación es similar (gráficos 2 y 3 respectivamente).

Se han detectado puntos que potencialmente vulneran la Ley de PCL, para más exactitud, serían un total 3012 puntos. En particular se han detectado puntos que superan hasta en más de 20 veces el límite legal. Estos puntos podrían o deberían de ser revisados en campo para comprobar si efectivamente se vulnera la ley. Este caso puede contribuir a la evaluación de políticas de actuación sobre los extremos para valorar los puntos que sobrepasan la Ley.

La ley no proporciona un criterio para evaluar luminancia media es por esto que el análisis llevado a cabo es sobre luminancia máxima (criterio que no presta equivocación). Si se establece un criterio espacial para esta media no costaría extraer unas medias de zonificación y así encontrar las potenciales zonas de infracción de la ley.

En la división de distritos censales se advierte que aquellos distritos más iluminados son, como en principio es esperable, polarizados por los centros comerciales, centros deportivos y zonas urbanas con actividad comercial. Por las características de estas zonas el carácter de la iluminación es particular y no pertenece a iluminación pública. Estos mapas pueden ser herramientas de ayuda a gestores de iluminación para escoger o privilegiar actuaciones en la iluminación.

La metodología empleada en la distribución de la intensidad lumínica promediada, en la zona de trabajo y áreas de luz, ha dado lugar a que el proyecto sea punto de partida en la creación, por parte del ICGC, de análisis o procedimientos nuevos para poder representar con mayor claridad o exhaustividad la información de luminancia media.

En cuanto a la iluminación en calles y zonas transitables, se ha observado un respeto y una protección elevada en los espacios naturales donde pretende protegerse la biodiversidad. Los centros urbanos debido a la alta concentración de la actividad humana están sobreiluminados, por lo tanto sometidos a una ley que potencia la racionalización energética sin olvidar las condiciones de seguridad ciudadana.

Las vías de comunicación dan prioridad a conductores y a peatones. Salvo las vías de tren, que por funcionalidad no disponen de luz artificial en la mayoría de su trazado, las carreteras garantizan a los

usuarios una mayor visibilidad para que puedan detectar objetos, obstáculos y peatones tanto en movimiento como en estático con fiabilidad.

En el estudio, se han encontrado zonas con grandes diferencias de luminancias, que pueden ser partícipes de las posibles pérdidas de agudeza visual, en todas las intersecciones y nudos de carreteras. Esto quizás sea debido a la incorrecta orientación del alumbrado mientras el resto de viales, en general presentan una estructura de luz aceptable.

No se trata de dotar de más iluminación para proporcionar mayor confianza a las personas, sino conseguir confort lumínico.

En la lucha de la protección del cielo nocturno se quiere evitar la destrucción del paisaje celeste. No sólo cumple una función estética de belleza universal, sino que forma parte de las raíces culturales de la propia humanidad.

Finalmente, el problema de la contaminación lumínica está cambiando los hábitos de la sociedad, utilizando la iluminación de manera más eficiente, con menos desperdicio y menos creación de iluminación no deseada o innecesaria.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y PORTALES WEB

11.1 REFERENCIAS AL TEXTO

1. **Departament de medi ambient. Generalitat de Catalunya.** "La problemática de la Contaminación lumínica en la conservación de la Biodiversidad". [En línea] 29 / Julio / 1998. <https://www.um.es/eubacteria/Biodiversidad.pdf>.
2. "*Detección de la iluminación exterior urbana nocturna con el sensor aerotransportado CASI-550*". **Tardà A, Palà V, Arbiol, R, Pérez F, Viñas O, Pipia L.** Barcelona. International Geomatic Week. : s.n., 2011.
3. "*Spectral Identification of Lighting Type and Character*". **Elvidge, C.D., Keith, D.M., Tuttle, B.T., Baugh, K.E.** Sensors 10, 3961-3988, 2010.
4. "*Hyperspectral remote sensing for light pollution monitoring*". **Barducci, A., Benvenuti, M., Bonora, L., Castagnoli, F., Guzzi, D., Marconi P., Pippi, I.** s.l. : Annals of Geophysics, 2006, Vol. 49, 305 - 310.
5. "*Spatial analysis of global urban extent from DMSP-OLS night lights*". **Small, C., Pozzi, F., Elvidge, C.D.** s.l. : Remote Sensing of Environment, 2005, Vol. 96, 277 - 291.
6. "*Mapping City Lights With Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System*". **Elvidge C.D, Baugh K.E., Kihn E.A, Kroel H.W., and Davis E.R.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing : s.n., 1997, Vol. 63, Issue 6, pp 727 - 734.
7. "*A methodology for luminance map retrieval using airborne hyperspectral data*". **Pipia, L., Alamús, R., Tardà, A., Pérez, F., Palà, V., Corbera, J.** . Amsterdam : SPIE. Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications., 2014.
8. "*Generación de mapas de luminancia urbana a partir de un sensor hiperespectral VNIR y una cámara fotogramétrica digital*". **Pipia, L., Alamús, R., Tardà, A., Pérez-Aragüés, F., Palà, V., Corbera, J., Arnaldich, J.** Sevilla : Revista de teledetección. Asociación Española de Teledetección., 2015.
9. **Manuel de Solà-Morales.** *Análisis factorial de las características urbanas del área del Besós.* Barcelona : Comisión de urbanismo y servicios comunes de Barcelona y otros municipios. , 1969.
10. **Generalitat de Catalunya. Departamento del territorio y sostenibilidad.** Mapa de protección de contaminación lumínica. [En línea] http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_luminica/mapa-de-proteccio-contra-contaminacio-luminica/.
11. **Instituto de astrofísica de Canarias (OTPC).** Guía de niveles de iluminación según EN-13201 y RD 1890/08. [En línea] Marzo / 2017. <http://www.iac.es/servicios.php?op1=28&op2=73>.

12. Recursos CITCEA. Alumbrado de vías públicas - Recursos CITCEA. [En línea]
http://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/vias_p.html#nivel.

11.2 PORTALES WEB

- Instituto de Astrofísica de Canarias.
OTPC (Oficina Técnica para la Protección de la calidad del Cielo)
<http://www.iac.es/OTPC>
- Internacional Commission on Illumination (CIE)
<http://www.cie.co.at/>
- Grup d'Estudis Astronòmics
<http://www.gea.cesca.es/>
- Agrupación astronómica Cántabra
<http://www.astrocantabria.org>
- Instituto Cartográfico y Geológico (ICGC)
<http://www.icgc.cat/L-ICGC/Agenda/Jornada-Contaminacio-luminica-de-la-dada-a-la-mesura-d-impactes-i-afectacions>
- Fundación vida sostenible
<http://www.vidasostenible.org/informes/efectos-de-la-contaminacion-luminica>
- Asociación astronómica AVEX
http://www.avex-asso.org/dossiers/wordpress/?page_id=42&lang=fr_FR

12.1 ANÁLISIS FACTORIAL DE LAS CARACTERÍSTICAS URBANAS DEL ÁREA DEL BESÓS

Detalle del documento que realiza una representación geoespacial sobre el desarrollo urbanístico en la zona del Besós en el año 1969 (9).

III. Las características urbanísticas.

Las variables consideradas abarcan aspectos relativos a las características demográficas de la zona, a sus datos físicos, de edificación y crecimiento, a sus condiciones de accesibilidad, su equipamiento y sus servicios urbanísticos fundamentales. En sus epígrafes básicos son:

Población.
Topografía.
Período de ocupación.
Accesibilidad viaria.
Accesibilidad por T.P.
Equipamiento urbano.
Equipamiento comercial.

Alcantarillado.
Pavimentación.
Alumbrado público.

Se era consciente, por supuesto, de la existencia de otras variables de notable significación que, sin embargo, no fueron incluidas, o por su imprecisión conceptual, o por la imposibilidad de obtener datos precisos sobre ellas.

Como se ha expuesto anteriormente, la necesidad de referir estas variables a unidades territoriales equivalentes, de igual superficie y manejabilidad numérica, llevó al método de aplicar al territorio una malla ortogonal cuadrangular de 200 x 200 m, que definía unas Unidades Elementales de Análisis (U.E.A.), abstractas parcelas de territorio sobre las que se medían las variables, por niveles cualitativos.

La obtención, sistematización, mapificación y codificación de estos datos, está expuesta en los anteriores capítulos 2, 3, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19. La necesidad de una magnitud homogénea a que referir las mediciones de cada variable, llevó a contabilizarlas todas en términos de porcentaje de ocupación de suelo en cada UEA, para cada nivel cualitativo de la variable. De este modo el número de variables explícitas introducidas en el análisis, fueron tantas cuantos los tipos cualitativos de las variables, totalizando un conjunto de 35 más los tres factores introducidos como resultantes del análisis factorial de los datos de población.

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Sup. contable | |
| 2. Pendiente III 10 % | |
| 3. Pendiente II 3 - 10 % | |
| 4. Pendiente I 3 % | |
| 5. Accesibilidad red primaria III | 21. Alcantarillado II |
| 6. Accesibilidad red primaria II | 22. Alcantarillado I |
| 7. Accesibilidad red primaria I | 23. Alcantarillado 0 |
| 8. Accesibilidad primaria 0 | 24. Factor I población |
| 9. % ocupación antes 1925 | 25. Factor II población |
| 10. % ocupación 1925-50 | 26. Factor III población |
| 11. % ocupación 1950-60 | 27. Equipamiento urbano I+0 |
| 12. % ocupación 1960-65 | 28. Equipamiento urbano II + I + 0 |
| 13. % suelo vacante 1965 | 29. Equipamiento urbano III + II + I + 0 |
| 14. Población absoluta | 30. Equipamiento urbano IV + III + II + I + 0 |
| 15. Pavimentación II | 31. Equipamiento comercial 0 |
| 16. Pavimentación I | 32. Equipamiento comercial 0 + I |
| 17. Pavimentación 0 | 33. Equipamiento comercial 0 + I + II |
| 18. Iluminación II | 34. Equipamiento comercial 0 + I + II + III + IV |
| 19. Iluminación I | 35. Accesibilidad TP×bus (urbana) |
| 20. Iluminación 0 | 36. Accesibilidad TP×bus (interurbanas) |
| | 37. Accesibilidad TP×FF.CC. |
| | 38. No accesibilidad×TP |

La factorialización de estas correlaciones exigía, por su elevado número, un equipo computador de gran capacidad de memoria, por lo que el programa de análisis factorial se adaptó para el ordenador IBM-360, del Centro Ordenador Municipal del Ayuntamiento de Barcelona, donde se procesó (tiempo de computación 05'10"). La primera pasada (sin rotación) arrojó once factores con uno dominante del 34,74 % de significación sobre la varianza total. A pesar de ser un porcentaje relativamente bajo, se consideró suficiente como para utilizar el factor como clasificador de zonas homogéneas del área. El factor refleja sistemáticamente condiciones generales de nivel urbanístico:

Factor principal sin rotación

35 %

20. Iluminación 0	— 0,765
17. Pavimentación 0	— 0,755
34. Equipo Comercial IV	0,742
33. Equipo Comercial III	0,712
13. Suelo vacante	— 0,709
29. Equipo Urbano III	0,652
8. No accesibilidad viaria	— 0,639
15. Pavimentación buena	0,638
38. No accesibilidad × TP	— 0,593
28. Equipo Urbano II	0,537
22. Alcantarillado medio	0,569
9. Ocupación antes 1925	0,548
32. Equipo Comercial II	0,533
35. Accesibilidad urbana por bus	0,484
5. Accesibilidad red primaria I	0,468
16. Pavimentación media	0,454
27. Equipo Urbano I	0,454

Su distribución espacial es la del gráfico 8 y las zonas homogéneas resultantes de agregar intervalos próximos a fin de caracterizar globalmente el Área, se resumen en el gráfico 9.

Aparece claramente la estructura polar del centro de Badalona, que actúa gravitatoriamente creando curvas concéntricas a su alrededor, progresivamente decadentes. Igual estructura, aunque con mucha menos fuerza, muestran los centros de Santa Coloma y San Adrián. Esta organización polar se combina con el efecto lineal de la carretera nacional N-II que crea, a lo largo de su recorrido, un eje estructurante secundario. (Gráfico 8, Gráfico 9.)

Negativamente, se configuran las zonas marginales (La Catalana y La Bota, periféricas de Singuerlin, del Santo Cristo, de Canyet, de las baterías de Montgat, Tiana, etc.).

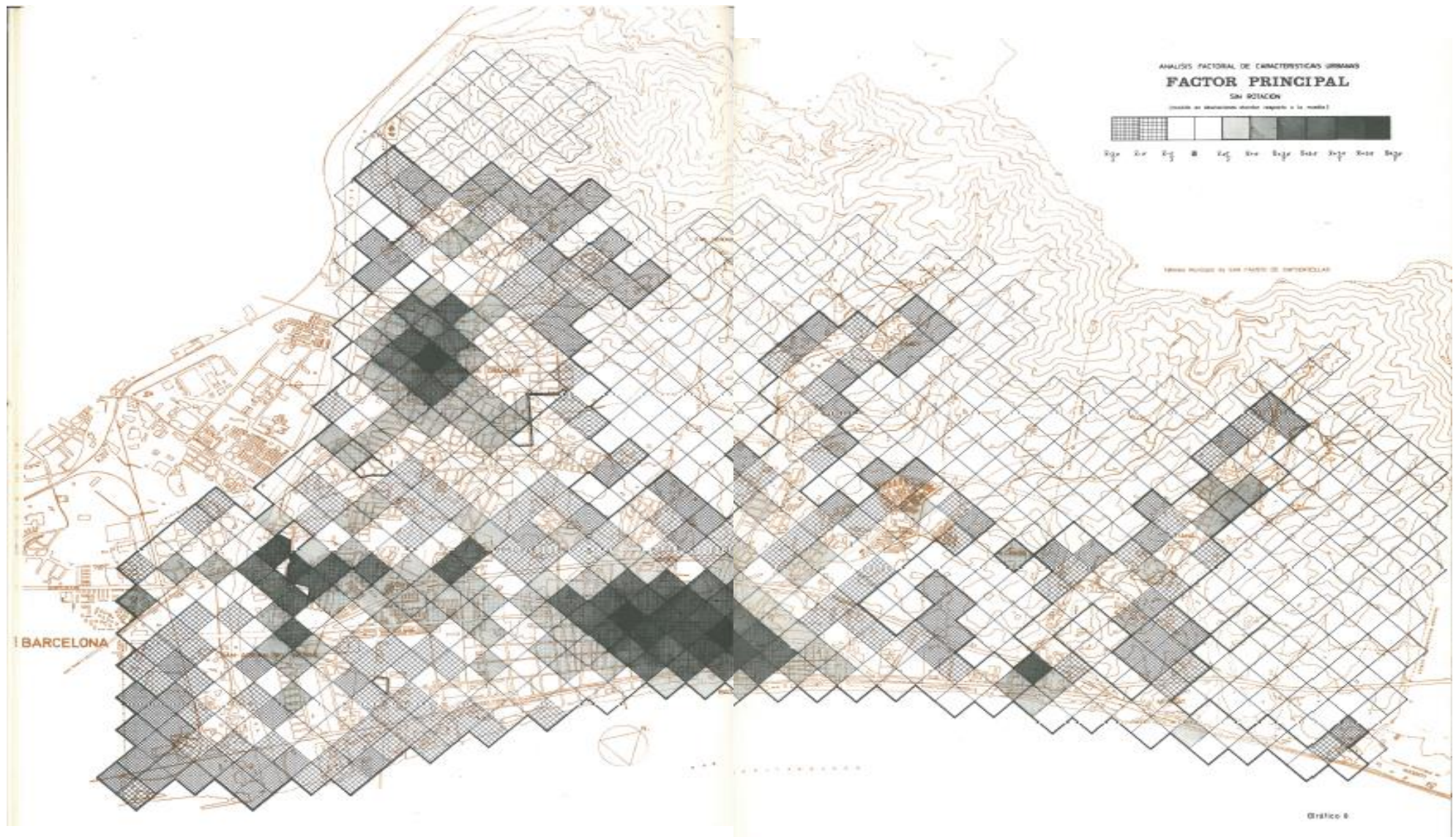


Ilustración 56. Representación geoespacial de las características urbanísticas.

12.2 LEY CATALANA DE PROTECCIÓN DEL MEDIO NOCTURNO

Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya

Núm. 6944 - 27.8.2015

<http://www.gencat.cat/dogc>

CVE-DOGC-A-15237054-2015

DECRET 190/2015, de 25 d'agost, de desplegament de la Llei 6/2001, de 31 de maig, d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn.

Capítol 2

Règim regulador de la il·luminació

Secció 1

Zonificació del territori de Catalunya segons el grau de protecció del medi nocturn

Article 5

Zonificació

En funció de la vulnerabilitat del medi nocturn de la contaminació lumínica, el territori de Catalunya es divideix en quatre tipus de zones de protecció, d'acord amb el que estableix l'article 5 de la Llei 6/2001, de 31 de maig.

Les zones de protecció són les següents:

a) Les **zones E1**, amb una protecció màxima de la contaminació lumínica, són les àrees incloses al Pla d'espais d'interès natural (PEIN); els espais de la xarxa Natura 2000; les platges, les costes i les ribes d'aigües continentals, no integrades en els nuclis de població o en nuclis industrials consolidats, i també les àrees que el departament competent en matèria de medi ambient aprova amb aquest nivell de protecció a proposta de l'ajuntament del terme municipal on se situen.

b) Les **zones E2**, amb una protecció alta de la contaminació lumínica, són les àrees que el planejament urbanístic classifica com a sòl no urbanitzable, fora de les zones E1, i també les àrees que el departament competent en matèria de medi ambient aprova amb aquest nivell de protecció a proposta de l'ajuntament del terme municipal on se situen.

c) Les **zones E3**, amb una protecció moderada de la contaminació lumínica, són les àrees que el planejament urbanístic classifica com a sòl urbà o urbanitzable, excepte les àrees que són zona E1, E2 o E4. També es classifiquen com zones E3 els espais d'ús intensiu durant la nit per l'alta mobilitat de persones o per la seva elevada activitat comercial o d'oci, situats en sòl no urbanitzable, que els ajuntaments proposen com a tals i el departament competent en matèria de medi ambient aprova.

La il·luminació en àrees de zones E3 properes a punts de referència, zones E1 o zones aquàtiques marines i continentals ha de ser especialment respectuosa per evitar efectes perturbadors en el medi.

d) Les **zones E4**, amb una protecció menor de la contaminació lumínica, són de sòl urbà d'ús intensiu durant la nit per l'alta mobilitat de persones o per la seva elevada activitat comercial o d'oci, que els ajuntaments proposen com a tals i el departament competent en matèria de medi ambient aprova. No es poden classificar com a zona E4 els espais que estan a menys de 2 km d'una zona E1.

Article 6

Punts de referència

1. En els llocs d'especial valor astronòmic o natural que estiguin en zona E1 es poden establir punts de referència per tal d'augmentar-ne la protecció. A l'entorn de cada punt de referència s'ha d'establir una àrea d'influència a determinar en funció de l'orografia de l'entorn. Aquesta àrea ha de ser del nivell màxim de protecció, E1, per a l'àmbit més proper al punt de referència, i si escau, amb els nivells de protecció que s'estableixin per a la resta d'àmbits.

2. Els punts de referència i les àrees d'influència s'estableixen per una resolució del conseller o consellera competent en matèria de medi ambient, a proposta del director o directora general competent en matèria de prevenció de la contaminació lumínica, amb audiència prèvia als ajuntaments afectats. La resolució determina les característiques específiques que han de complir les instal·lacions d'il·luminació ubicades en el punt de referència i en l'àrea d'influència. La resolució també pot establir una distància mínima, que no pot ser inferior a 2 km, en la qual no es pot classificar un espai com a zona E4.

Article 7

Mapa de la protecció envers la contaminació lumínica a Catalunya

1. El Mapa de la protecció envers la contaminació lumínica a Catalunya és l'instrument que reflecteix les zones previstes a l'article 5 i els punts de referència previstos a l'article 6.

2. El departament competent en matèria de medi ambient elabora i tramita el Mapa, amb participació dels ajuntaments i, un cop aprovat, comunica a cada ajuntament la zonificació del seu terme municipal i publica i difon el Mapa.

3. El Mapa es modifica en els supòsits i amb els procediments següents:

a) Quan s'aprova una modificació de la classificació del sòl en el planejament urbanístic que afecta la zonificació d'aquest sòl en el Mapa. En aquest cas, l'ajuntament ha de comunicar la modificació al departament competent en matèria de medi ambient i aquest, un cop comprovat el supòsit, modifica el Mapa.

b) En els supòsits previstos a l'article 5, a proposta de l'ajuntament. La proposta ha de contenir la documentació que acrediti que l'ajuntament ha donat audiència a les persones interessades i ha valorat les al·legacions presentades, si s'escau. La direcció general competent en matèria de contaminació lumínica valora la proposta, requereix a l'ajuntament les dades o documents necessaris per completar-la,

si escau, i formula la proposta de resolució. En cas que es proposi la no-aprovació de la proposta, s'ha de donar audiència prèvia a l'ajuntament.

c) Quan s'inclouen nous espais en el Pla d'espais d'interès natural (PEIN) o en la xarxa Natura 2000 o bé s'amplien els ja inclosos, i quan s'estableix o es modifica un punt de referència. En aquests supòsits, la modificació del Mapa es fa d'ofici pel departament competent en matèria de medi ambient.

4. El Mapa i les seves modificacions s'aproven per resolució del conseller o consellera competent en matèria de medi ambient, a proposta del director o directora general competent en matèria de contaminació lumínica.

Annex 2

Característiques permeses i nivells màxims

Els nivells d'il·luminació i luminància fixats en aquest Decret estan referits a l'inici de la vida de la instal·lació, i per tant sense consideracions de depreciació.

5. Nivells màxims de luminància per a l'enllumenat exterior ornamental

Els nivells màxims de luminància per a les instal·lacions d'il·luminació ornamental, en funció de la zona de protecció envers la contaminació lumínica en què estan ubicades, són els següents:

Zona de protecció	Luminància mitjana (cd/m ²)	Luminància màxima (cd/m ²)
E1	5	10
E2	5	10
E3	10	60
E4	25	150

12.3 PUNTOS QUE VULNERAN LA LEY

Zona E1: Protección máxima. Puntos que superan una luminancia superior a 10 cd/m².

PUNTOS	MÁX (cd/m ²)	COORDENADA X	COORDENADA Y	PUNTOS	MÁX (cd/m ²)	COORDENADA X	COORDENADA Y
1	10	430666.13	4590279.88	31	18	430758.00	4588856.83
2	10	431254.38	4589048.38	32	18	430848.18	4588818.48
3	11	431192.63	4590003.00	33	19	431314.92	4589117.42
4	11	430917.13	4589517.13	34	19	431316.18	4589116.94
5	11	431200.13	4589136.25	35	22	431258.75	4589051.13
6	11	431255.00	4589045.28	36	22	430283.43	4588601.24
7	11	430784.13	4588869.44	37	23	431074.50	4589122.50
8	12	431193.13	4590023.00	38	24	430524.64	4588997.78
9	12	430771.59	4589444.84	39	24	430809.85	4588836.02
10	12	431254.88	4589086.75	40	27	430804.03	4588849.26
11	12	431255.19	4589084.19	41	32	430609.18	4590277.36
12	12	430763.50	4588844.50	42	32	431198.63	4589176.80
13	12	430818.31	4588807.81	43	32	431075.99	4589122.38
14	12	430809.75	4588788.38	44	34	430847.67	4588977.92
15	13	431181.25	4590018.88	45	35	431262.35	4589096.10
16	13	431176.04	4590005.79	46	40	431466.30	4589315.16
17	13	431548.29	4589631.04	47	40	431211.36	4589186.64
18	13	431239.81	4589124.53	48	43	431346.88	4589185.90
19	13	430814.75	4588786.13	49	58	431313.97	4589117.97
20	13	430283.33	4588602.21	50	62	431465.06	4589320.08
21	14	430898.25	4589522.91	51	65	431476.72	4589329.33
22	14	431360.00	4589064.50	52	109	431505.28	4589327.63
23	14	430762.63	4588782.88	53	219	431254.58	4589088.56
24	15	431546.95	4589632.48	54	249	431190.96	4589198.11
25	15	431513.09	4589337.77	55	249	431186.74	4589185.32
26	15	430791.33	4588781.28	56	249	431077.64	4588987.90
27	16	430772.75	4589446.17	57	260	431194.81	4589189.66
28	16	430794.68	4588776.98	58	260	431203.00	4589190.06
29	17	431236.15	4589086.78	59	262	431208.56	4589201.19
30	18	431499.50	4589326.38				

Zona E2: Protección alta. Luminancia superior a 10 cd/m².

PUNTOS	MÁX (cd/m ²)	COORDENADA X	COORDENADA Y	PUNTOS	MÁX (cd/m ²)	COORDENADA X	COORDENADA Y
1	10	432462.69	4592675.29	41	14	431631.38	4591623.50
2	10	434214.63	4591864.88	42	14	434247.38	4591422.75
3	10	431748.88	4591790.63	43	14	431303.00	4590629.63
4	10	432270.38	4590868.00	44	14	436645.59	4587547.73
5	10	432269.79	4590867.33	45	14	436748.63	4587523.75
6	10	432581.25	4590294.38	46	14	436798.75	4587505.25
7	11	432733.38	4591885.13	47	14	436542.71	4587283.46
8	11	434215.13	4591586.88	48	14	436548.88	4587114.25
9	11	434211.88	4591585.13	49	14	434774.69	4586485.61
10	11	434201.38	4591572.88	50	15	433395.75	4588952.88
11	11	434202.88	4591570.00	51	15	436722.88	4587526.35
12	11	432581.08	4590297.03	52	15	436779.50	4587510.63
13	11	434629.88	4586471.63	53	15	436546.96	4587108.29
14	11	434733.63	4586373.38	54	15	434732.50	4586369.25
15	12	431833.33	4591941.93	55	16	432580.42	4592256.58
16	12	432732.13	4591885.38	56	16	432537.86	4590952.69
17	12	432540.80	4590951.88	57	16	433374.75	4588957.50
18	12	432777.00	4590743.38	58	16	436721.63	4587526.69
19	12	433148.75	4590510.88	59	16	436532.79	4587295.21
20	12	433390.13	4588964.63	60	16	436550.25	4587120.00
21	12	436536.63	4587094.75	61	16	436545.48	4587102.68
22	12	434775.35	4586485.09	62	16	436543.75	4587096.75
23	12	434629.50	4586472.63	63	17	434288.13	4591770.50
24	12	434630.25	4586471.88	64	17	434208.38	4591582.02
25	13	432751.20	4592301.25	65	17	430954.25	4590889.00
26	13	434174.38	4592012.00	66	17	436553.46	4587131.54
27	13	431092.94	4590766.70	67	18	434201.79	4591849.21
28	13	434697.75	4590480.63	68	18	431426.65	4591367.43
29	13	432568.96	4590310.17	69	18	431303.88	4590630.44
30	13	432582.63	4590295.24	70	18	436740.83	4587521.28
31	13	436644.38	4587548.00	71	18	436609.13	4587141.13
32	13	436748.88	4587525.00	72	18	436542.28	4587091.05
33	13	436742.09	4587520.98	73	19	431590.50	4591613.63
34	13	436551.75	4587125.75	74	19	436555.00	4587137.38
35	13	434629.88	4586472.88	75	19	434303.40	4586979.90
36	13	434756.00	4586452.63	76	20	432579.63	4592257.25
37	13	434733.25	4586373.13	77	20	434201.08	4591865.53
38	14	433234.46	4592764.46	78	20	434208.67	4591865.17
39	14	434295.19	4591770.19	79	21	431406.38	4590710.05
40	14	431723.00	4591751.88	80	21	436800.03	4587504.89
81	22	434157.05	4592005.27	119	39	434285.05	4591775.63

Contaminación lumínica: Análisis geoespacial a partir de imágenes de teledetección

PUNTOS	MÁX (cd/m ²)	COORDENADA X	COORDENADA Y	PUNTOS	MÁX (cd/m ²)	COORDENADA X	COORDENADA Y
82	22	434180.38	4591866.88	120	40	434292.56	4591780.59
83	23	433380.08	4588945.78	121	40	434945.13	4590472.80
84	23	436657.53	4587251.64	122	40	432569.75	4590303.13
85	24	433046.25	4592177.57	123	41	433205.01	4592754.53
86	24	434208.58	4591859.78	124	42	432556.38	4590317.88
87	24	434210.33	4591850.98	125	45	433211.93	4589202.42
88	24	431405.42	4590709.33	126	46	434289.76	4591771.42
89	24	436683.85	4587537.13	127	46	434680.38	4586504.50
90	26	431682.06	4591694.15	128	48	431850.57	4592034.90
91	27	433243.66	4592777.91	129	49	431115.05	4590752.38
92	28	435240.58	4584911.59	130	50	431875.13	4592104.67
93	29	433248.83	4592778.67	131	51	433211.06	4589203.17
94	29	434190.92	4591866.17	132	52	433221.78	4592760.97
95	29	436565.28	4587412.21	133	53	433243.46	4592779.63
96	29	434717.00	4586392.25	134	54	433237.75	4592788.21
97	30	436546.03	4587342.71	135	56	431009.45	4590840.98
98	30	436561.51	4587278.22	136	57	431782.44	4591848.49
99	30	436619.27	4587262.23	137	57	432499.98	4591575.48
100	30	436677.01	4587246.19	138	57	433145.72	4590503.10
101	31	431760.63	4591858.13	139	57	435339.59	4590309.26
102	31	434278.80	4591747.60	140	58	433254.78	4592777.47
103	31	431431.88	4590677.25	141	58	434681.01	4586503.57
104	31	436703.50	4587531.63	142	59	431846.61	4592012.55
105	31	436552.51	4587365.95	143	59	435338.47	4590309.83
106	31	434718.09	4586391.59	144	68	433250.03	4592777.78
107	32	433185.30	4589178.00	145	69	434238.46	4591426.15
108	33	434211.13	4591856.45	146	70	431008.65	4590839.98
109	33	431116.38	4590753.00	147	74	433252.49	4592775.04
110	33	436664.68	4587542.49	148	98	433199.22	4592752.41
111	34	434283.95	4591780.63	149	118	433196.00	4592751.00
112	34	431561.79	4591570.26	150	119	433004.59	4592083.69
113	35	434272.33	4591783.08	151	151	433833.45	4588318.03
114	35	431432.46	4591379.54	152	163	436595.53	4587092.99
115	36	431641.46	4591679.29	153	230	436594.63	4587094.57
116	37	434731.58	4586369.93	154	267	436592.47	4587094.79
117	38	431432.88	4590678.13	155	268	433839.21	4588318.78
118	38	433146.64	4590502.43	156	270	433844.52	4588319.45

Zona E3: Protección moderada. Luminancia superior a 60 cd/m².

Debido al elevado número de puntos detectados (2765 puntos) resulta más manipulable la información en formato digital. Se pueden consultar los datos en los resultados digitales adjuntos al documento, en la hoja de cálculo *Coord_Ptos_vulneran_ley.xlsx* (pestaña *Z3_lumsup60*) o en la capa y *Z3_lumsup60_pto.lyr*.

Zona E4: Protección menor. Luminancia superior a 150 cd/m².

PUNTOS	MÁX (cd/m ²)	COORDENADA X	COORDENADA Y
1	180	436958.25	4588893.38
2	224	436958.88	4588892.50
3	258	436714.66	4588819.59
4	226	436707.50	4588812.50
5	250	436750.88	4588806.88
6	258	436700.25	4588805.63
7	247	436709.96	4588802.35
8	253	436702.70	4588795.80
9	263	436712.03	4588782.35
10	256	436727.65	4588771.54
11	255	436737.92	4588763.01
12	257	436401.88	4588437.75
13	230	436385.17	4588425.92
14	215	436420.96	4588418.04
15	228	436357.18	4588387.98
16	258	436352.68	4588302.63
17	260	436346.05	4588295.63
18	253	436365.63	4588290.33
19	256	436344.68	4588287.00
20	252	436358.93	4588283.25
21	260	436351.50	4588280.63
22	269	436177.18	4588126.73
23	221	436209.96	4588125.46
24	206	436168.00	4588117.13
25	246	436201.16	4588116.34
26	164	436158.88	4588107.38
27	273	436191.88	4588106.50
28	257	436182.58	4588096.53
29	244	434697.03	4587573.18
30	177	434703.00	4587564.88
31	227	433915.46	4585612.79
32	194	435068.88	4584739.00

12.4 GUÍA PRÁCTICA DE NIVELES DE ILUMINACIÓN SEGÚN EN-13201 Y RD 1890/08

SITUACIÓN DE PROYECTO		TIPO DE VÍA Y USO	CLASE / CRITERIOS	ILUMINANCIA (cd/m²)				
			MECDA	MAX.	USE	MECDA	MAX.	
			1	2	3	1	2	
A1	AUTOPISTAS Y AUTOVIAS.		M1	IMD > 25.000 (> 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M2	IMD > 15.000 (< 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M3	IMD < 25.000 (> 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M4	IMD < 15.000 (< 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
A2	CARRETERAS ÚNICA CALZADA, DOBLE SENTIDO, VÍAS RÁPIDAS.		M1	IMD > 25.000	1,5	2,3	2,0	4,0
			M2	IMD > 15.000 (< 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M3	IMD < 25.000 (> 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M4	IMD < 15.000 (< 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
A3	CARRETERAS SIN ACERAS, CARRETERAS RURALES.		M1	IMD > 25.000 (> 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M2	IMD > 15.000 (< 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M3	IMD < 25.000 (> 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M4	IMD < 15.000 (< 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
-	GLORIETAS Y FONDOS DE SACO (ITC- EA-02-3.7).		M1	IMD > 25.000 (> 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M2	IMD > 15.000 (< 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M3	IMD < 25.000 (> 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
			M4	IMD < 15.000 (< 3 Intersecciones*/km)	1,5	2,3	2,0	4,0
B1	CALLES PRINCIPALES EN CIUDADES/ARTERIAS URBANAS.		M1	IMD > 7.000	0,75	1,1	2,0	4,0
			M2	IMD > 3.000	0,75	1,1	2,0	4,0
			M3	IMD > 1.000	0,75	1,1	2,0	4,0
			M4	IMD < 7.000	0,75	1,1	2,0	4,0
B2	CAMINOS/CARRETERAS RURALES.		M1	IMD > 7.000	0,75	1,1	2,0	4,0
			M2	IMD > 3.000	0,75	1,1	2,0	4,0
			M3	IMD > 1.000	0,75	1,1	2,0	4,0
			M4	IMD < 7.000	0,75	1,1	2,0	4,0
D1/D2	ÁREAS DE APARCAMIENTOS, ESTACIONES DE GUAGUAS.		M1	Alto flujo, comercial, turístico, ocio	-	-	-	-
			M2	Normal	-	-	-	-
			M3	Bajo flujo peatonal	-	-	-	-
			M4	Muy alto flujo: comercial, turístico, ocio	-	-	-	-
D3/D4	CALLES RESIDENCIALES CON VEHICULOS Y CON ACERAS A LO LARGO DE LA CALZADA.		M1	Alto flujo peatonal: comercial, ocio	-	-	-	-
			M2	Alto/medio flujo peatonal: zona algo comercial	-	-	-	-
			M3	Normal	-	-	-	-
			M4	Bajo flujo peatonal	-	-	-	-
E1/E2	PLAZAS URBANAS Y ZONAS PEATONALES.		M1	Alto flujo peatonal, comercial y turístico	-	-	-	-
			M2	Alto flujo peatonal (comercial-ocio)	-	-	-	-
			M3	Normal urbano	-	-	-	-
			M4	Bajo flujo peatonal	-	-	-	-
-	PASARELAS PEATONALES, ESCALERAS, RAMPAS, PASOS DE PEATONES.		M1	Muy bajo flujo peatonal	-	-	-	-
			M2	Zona Residencial (ITC-EA-02-3.1/3.3)	-	-	-	-
			M3	Zona Comercial (ITC-EA-02-3.1/3.3)	-	-	-	-
			M4	Alto Riesgo	-	-	-	-
-	VIGILANCIA/SEGURIDAD: INDUSTRIAS, COMERCIOS, INSTALACIONES DEPORTIVAS, ETC (SEGUN PELIGROSIDAD) (ITC-EA-02-5)		M1	Riesgo Elevado	-	-	-	-
			M2	Riesgo normal	-	-	-	-
			M3	Portal, pasillos abiertos, acceso principal zona segura	-	-	-	-
			M4	Resto zona aparcamiento D1/D2, CE4	-	-	-	-
-	PORTALES/ACCESOS A EDIFICIOS HASTA ZONA SEGURA RD314/2006 SUA 4.1, RESTO DE ZONAS RD.1890/2008		M1	Muy bajo flujo peatonal	-	-	-	-
			M2	Zona Residencial (ITC-EA-02-3.1/3.3)	-	-	-	-
			M3	Zona Comercial (ITC-EA-02-3.1/3.3)	-	-	-	-
			M4	Alto Riesgo	-	-	-	-
E1/E2	SITUACIONES ESPECIALES EN LA PALMA DESPUÉS DE MEDIANOCHE LED AMBAR IAC (Usr75%)		M1	Clase A1, A3, B1: 1/3 de la clase antes de 24h ó	-	-	-	-
			M2	Clase E (Núcleo principal urbano),	-	-	-	-
			M3	Clase D, E2/A2 con vehículos estacionados, E, general.	-	-	-	-
			M4	Clase D, E2, sin vehículos estacionados, seguridad	-	-	-	-

NOTAS:
 Cambio nomenclatura:
 M1 = Max
 Cx = CEx
 P1 = Sx

Estos valores no deben superarse un más de un 20%, tanto antes como después de medianoche.
 M5/C5/P4 deben reducir su flujo, al menos, a la clase inmediatamente inferior, a no ser que se justifique no realizarlo por razones de seguridad.
 Para las clases "M" se utilizará la correspondiente "C" en cuanto a límites de niveles, pudiendo utilizar el asfalto tipo CIE-R3 para obtener los valores de uniformidad. En caso de disponer de la tabla de reflexión específica de la instalación deberá usarse esta en su caso.
 En las situaciones de proyecto "D" podrá considerarse el valor medio especificado aplicado a toda la superficie del (carzadas + aceras) cuando el ancho de la acera es inferior a la mitad del de la carzada. El factor de mantenimiento no será inferior a 0,8 (0,75 en zona sometidas a influencias directas del mar).
 *Intersecciones: dos o más carreteras se encuentran al mismo nivel. En reducciones de flujo se mantendrá la U₀ prevista sin reducción "C".

SITUACION DE PROYECTO	TIPO DE VÍA Y USO	CLASE / CRITERIOS	LUMINANCIA cd/m ²			LUMINANCIA lux					
			MEDIA	MAX.	Um	MEDIA	MAX.	Um			
A1	AUTOPISTAS Y AUTOVIAS.	M1	IMD>25,000 (≥ 3 intersecciones*/km)	2	3	≥ 0,4	C1	30	72	≥ 0,4	
		M2	IMD >25,000 (< 3 intersecciones*/km)	1,5	2,3	≥ 0,4	C2	20	48	≥ 0,4	
		M3	IMD >15,000 (< 3 intersecciones*/km)	1,5	2,3	≥ 0,4	C2	20	48	≥ 0,4	
		M4	IMD < 25,000 (< 3 intersecciones*/km)	1	1,5	≥ 0,4	C3	15	36	≥ 0,4	
A1	CARRETERAS UNICA CALZADA, DOBLE SENTIDO, VÍAS RÁPIDAS.	M1	IMD < 15,000	1	1,5	≥ 0,4	C3	15	36	≥ 0,4	
		M2	IMD > 15,000 (< 3 intersecciones*/km)	2	3	≥ 0,4	C1	30	72	≥ 0,4	
		M3	IMD < 15,000 (≥ 3 intersecciones*/km)	1,5	2,3	≥ 0,4	C2	20	48	≥ 0,4	
		M4	IMD > 15,000 (≥ 3 intersecciones*/km)	1,5	2,3	≥ 0,4	C2	20	48	≥ 0,4	
A2	CARRETERAS SIN ACERAS, CARRETERAS RURALES.	M1	IMD > 7,000 (< 3 intersecciones*/km)	1	1,5	≥ 0,4	C3	15	36	≥ 0,4	
		M2	IMD < 7,000 (≥ 3 intersecciones*/km)	1	1,5	≥ 0,4	C3	15	36	≥ 0,4	
		M3	IMD < 7,000 (< 3 intersecciones*/km)	1	1,5	≥ 0,4	C3	15	36	≥ 0,4	
		M4	IMD > 7,000 (< 3 intersecciones*/km)	0,75	1,1	≥ 0,4	C4	10	24	≥ 0,4	
A3	CARRETERAS RÁPIDAS EN CIUDADES, CIRCUNVALACIONES, RONDAS.	M1	IMD > 25,000 (≥ 3 intersecciones*/km)	2	3	≥ 0,4	C1	30	72	≥ 0,4	
		M2	IMD > 25,000 (< 3 intersecciones*/km)	1,5	2,3	≥ 0,4	C2	20	48	≥ 0,4	
		M3	IMD > 15,000 y < 25,000	1,5	2,3	≥ 0,4	C2	20	48	≥ 0,4	
		M4	IMD > 7,000 y < 15,000	1	1,5	≥ 0,4	C3	15	36	≥ 0,4	
-	-	GLORIETAS Y FONDOS DE SACO (ITC-EA-02-3.7).	Una clase superior del tramo de mayor clase que confluye en la zona								
B1	CALLES PRINCIPALES EN CIUDADES / ARTERIAS URBANAS.	M2	IMD > 7,000 comercial/turístico	1,5	2,3	≥ 0,4	C2	20	48	≥ 0,4	
		M3	IMD > 7,000	1	1,5	≥ 0,4	C3	15	36	≥ 0,4	
		M4	IMD < 7,000	0,75	1,1	≥ 0,4	C4	10	24	≥ 0,4	
B2	CAMINOS/CARRETERAS RURALES.	M3	IMD > 7,000	1	1,5	≥ 0,4	C3	15	36	≥ 0,4	
		M4	IMD < 7,000	0,75	1,1	≥ 0,4	C4	10	24	≥ 0,4	
		M5	IMD < 4,000 poco tránsito	0,5	0,8	≥ 0,35	C5	7,5	18	≥ 0,4	
			M6	Poco tránsito, sin estacionamientos	0,3	0,5	≥ 0,35	C5	7,5	18	≥ 0,4

Ilustración 57. Detalle de la guía a través de la cual se han establecido los criterios de luminancia media, máxima y coeficiente global de uniformidad en todo el estudio.

12.5 VISUALIZACIÓN INSTAMAPS

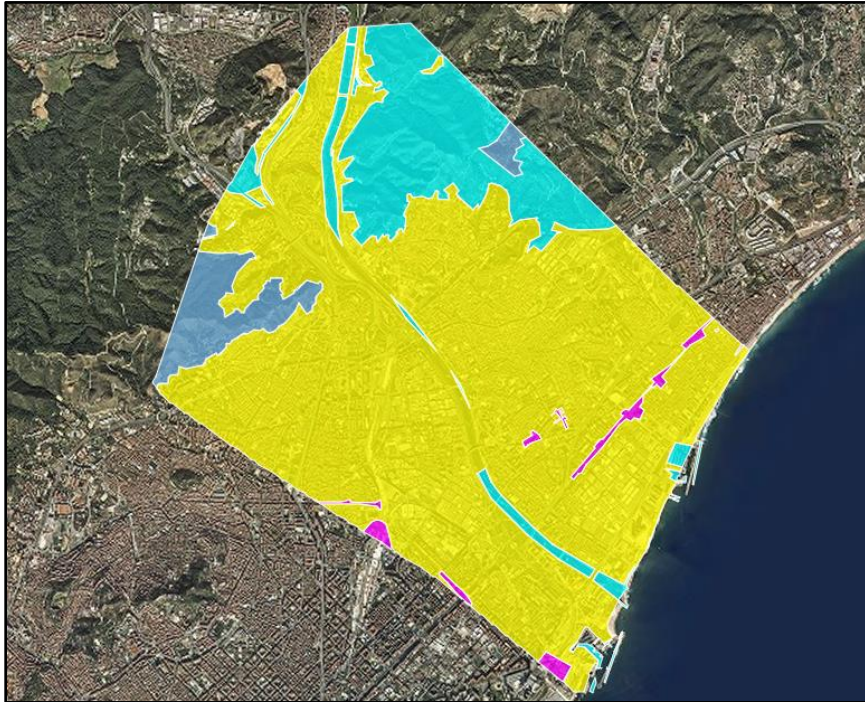


Ilustración 58. Áreas de protección contra la contaminación lumínica sobre la ortoimagen de Instamaps.

https://www.instamaps.cat/instavisor/65085605/a6abde6301ea0797219ed9f84dc46b0d/Areas_de_proteccion_contra_la_contaminacion_luminica.html?3D=false

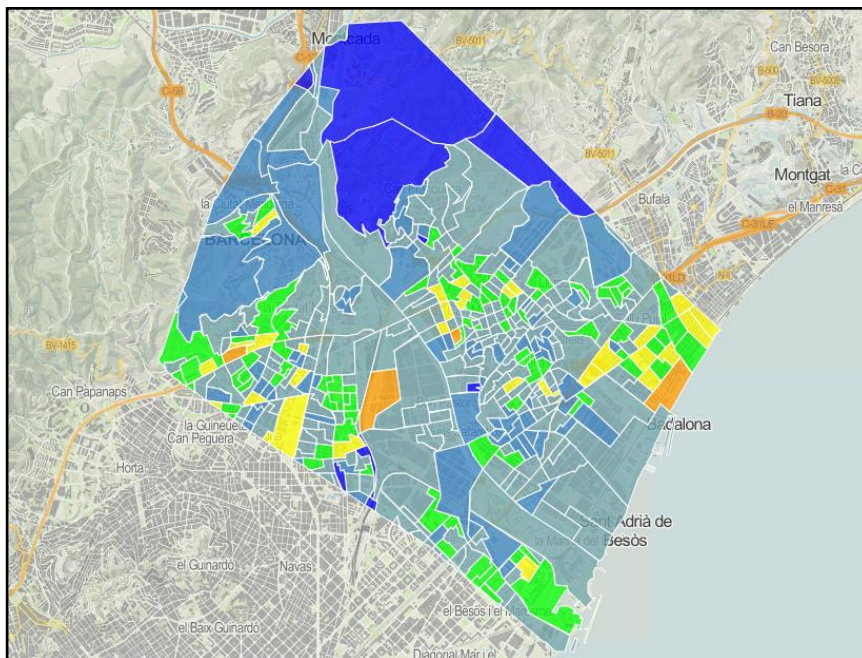


Ilustración 59. Promedio de luz por distritos censales sobre fondo simple de Instamaps.

https://www.instamaps.cat/instavisor/65085605/5f1e149a1ed820ffefc0d989716c22cf/Promedio_de_luz_por_distritos_censales.html?3D=false

12.6 ÍNDICE COMPLEMENTARIO

12.6.1 TABLAS

Tabla 1. Características principales y características de las adquisiciones nocturnas del sensor AisaEAGLE-II y la cámara DMC.....	21
Tabla 2. Leyenda de la segmentación de luminancia por clases.....	27
Tabla 3. Niveles máximos de luminancia para iluminación exterior en función de la zona de protección de contaminación lumínica. Fuente: Decreto 190/2015, Ley Catalana de protección del medio nocturno, Anexo 2.	29
Tabla 4. Leyenda de luminancia media según los niveles de iluminación de la UNE.....	42
Tabla 5. Leyenda de luminancia media (Lm) según los niveles de iluminación de la UNE.....	50
Tabla 6. Leyenda de luminancia media (Lm) según los niveles de iluminación de la UNE.....	50
Tabla 7. Leyenda del coeficiente de uniformidad global (Uo) según los niveles de iluminación de la UNE.	50
Tabla 8. Leyenda del parámetro combinado según los niveles de iluminación de la UNE.	50

12.6.2 GRÁFICOS

Gráfico 1. Representación de las áreas PCL por municipios.	30
Gráfico 2. Distribución de la luz en las áreas de PCL según la segmentación de luminancia.....	31
Gráfico 3. Distribución de la luz en las áreas de PCL.....	32
Gráfico 4. Distribución de la luz por municipios.....	33
Gráfico 5. Distribución de la luz en elementos urbanísticos según la segmentación de luminancia.....	34
Gráfico 6. Distribución de la luz en elementos urbanísticos.	34
Gráfico 7. Puntos que se exceden del máximo legal en zona E1.	36
Gráfico 8. Puntos que se exceden del máximo legal en zona E2.	37
Gráfico 9. Puntos que se exceden del máximo legal en zona E3.	38
Gráfico 10. Puntos que se exceden del máximo legal en zona E4.	39

12.6.3 ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Carta de contaminación lumínica de la Península Ibérica 2009.....	12
Ilustración 2. Espectro electromagnético.....	13

Ilustración 3. Espectro visible.....	13
Ilustración 4. Diferencia entre la reflexión especular y difusa.	14
Ilustración 5. Fenómeno de refracción.	15
Ilustración 6. Comparación de la oscuridad del cielo según la cercanía a centros urbanos. Fuente: STELLARIUM	18
Ilustración 7. Tipo de luminaria de la Plaza Pau Casals en Santa Coloma de Gramanet. Fuente: Street View...	19
Ilustración 8. a) Sensor AisaEAGLE-II b) Cámara DMC.....	21
Ilustración 9. Cataluña.....	22
Ilustración 10. ROI	22
Ilustración 11. Mapa de zonas de protección lumínica en el área de estudio	25
Ilustración 12. Esquema del procedimiento metodológico.Caso1.....	26
Ilustración 13. Detalle del mapa de luminancias segmentado en 10 clases.	27
Ilustración 14. Puntos de luz superiores a 10 cd/m ² en zona E1.	35
Ilustración 15. Puntos de luz superiores a 10 cd/m ² en zona E2.	36
Ilustración 16. Puntos de luz superiores a 60 cd/m ² en zona E3.	38
Ilustración 17. Puntos de luz superiores a 60 cd/m ² en zona E3.	39
Ilustración 18. Esquema del procedimiento metodológico.Caso2.....	40
Ilustración 19. Intensidad lumínica promediada por censos municipales en el área de estudio.	42
Ilustración 20. a) Detalle del censo municipal que contiene el complejo deportivo “Antoni Gelabert” en el mapa de promedio. b) Detalle del área del complejo deportivo “Antoni Gelabert” y alrededores en el mapa de luminancia. c) Detalle del área del complejo deportivo “Antoni Gelabert” y alrededores en la ortofoto de Cataluña.	43
Ilustración 21. a) Detalle del censo municipal que contiene el centro comercial “La Maquinista” en el mapa de promedios. b) Detalle del área del centro comercial “La Maquinista” y alrededores en el mapa de luminancia. c) Detalle del área del centro comercial “La Maquinista” y alrededores en la ortofoto de Cataluña.	43
Ilustración 22. a) Detalle del censo municipal que contiene la Plaza Pau Casals en el mapa de promedios. b) Detalle del área de la Plaza Pau Casals y alrededores en el mapa de luminancia. c) Detalle del área de la Plaza Pau Casals y alrededores en la ortofoto de Cataluña.	44
Ilustración 23. a) Detalle del censo municipal que contiene el área residencial en el mapa de promedios. b) Detalle del área de la zona residencial en el mapa de luminancia. c) Detalle del área de la zona residencial en la ortofoto de Cataluña.	44

Ilustración 24. Intensidad lumínica promediada por áreas de luz en la zona de estudio.	45
Ilustración 25. a) Detalle de las áreas de luz que contiene el centro comercial del Heron City en Barcelona en el mapa de promedios. b) Detalle de las áreas de luz el centro comercial del Heron City en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle de las áreas de luz el centro comercial del Heron City en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.	46
Ilustración 26. a) Detalle de las áreas de luz que contiene la Central Térmica Besós en Sant Adrià del Besòs en el mapa de promedios. b) Detalle de la Central Térmica Besós en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle de la Central Térmica Besós en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Cataluña.	46
Ilustración 27. a) Detalle de las áreas de luz que contiene la calle Marià Benlliure en Badalona en el mapa de promedios. b) Detalle de la calle Marià Benlliure en Badalona en el mapa de luminancia. c) Detalle de la calle Marià Benlliure en Badalona en la ortofoto de Cataluña.....	46
Ilustración 28. Esquema del procedimiento metodológico.Caso3.....	48
Ilustración 29. Promedio de la intensidad de la luz en calles y zonas transitables segmentadas en tramos de 10 metros.	51
Ilustración 30. a) Detalle de un conjunto de calles en Badalona donde existe un contraste lumínico entre una zona con elevada intensidad luminosa junto con un área industrial poco iluminada en el mapa de promedios. b) Detalle de un conjunto de calles en Badalona donde existe un contraste lumínico entre una zona con elevada intensidad luminosa junto con un área industrial poco iluminada en el mapa de luminancia. c) Detalle de un conjunto de calles en Badalona donde existe un contraste lumínico entre una zona con elevada intensidad luminosa junto con un área industrial poco iluminada en la ortofoto de Cataluña.	52
Ilustración 31. a) Detalle de un tramo de la Av. Alfonso XIII en Badalona que supera el criterio establecido sobre el promedio de intensidad luminosa en el mapa de promedios. b) Detalle de un tramo de la Av. Alfonso XIII en Badalona que supera el criterio establecido sobre el promedio de intensidad luminosa en el mapa de luminancia. c) Detalle de un tramo de la Av. Alfonso XIII en Badalona que supera el criterio establecido sobre el promedio de intensidad luminosa en la ortofoto de Cataluña.	52
Ilustración 32. Rendimiento visual a través del coeficiente global de uniformidad en calles y zonas transitables segmentadas en tramos de 10 metros.....	53
Ilustración 33. Comportamiento lumínico a través del parámetro combinado en calles y zonas transitables segmentadas en tramos de 10 metros.....	54
Ilustración 34. a) Detalle de la calle Valira en Barcelona cubierta por vegetación sin dejar percibir la luz real en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle de la calle Valira en Barcelona cubierta por vegetación sin dejar percibir la luz real en el mapa de luminancia. c) Detalle de la calle Valira en Barcelona cubierta por vegetación sin dejar percibir la luz real en la ortofoto de Cataluña.....	55
Ilustración 35. a) Detalle de una zona residencial en Badalona con variaciones de luz en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle de una zona residencial en Badalona con variaciones de luz en el mapa de luminancia. c) Detalle de una zona residencial en Badalona con variaciones de luz en la ortofoto de Cataluña.....	55

Ilustración 36. Promedio de la intensidad de la luz en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros.	56
Ilustración 37. a) Detalle de la elevada intensidad luminosa del nudo de la Trinidad en Barcelona en el mapa de promedios. b) Detalle de la elevada intensidad luminosa del nudo de la Trinidad en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle de la elevada intensidad luminosa del nudo de la Trinidad en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.	56
Ilustración 38. a) Detalle de la oscuridad en caminos y carreteras rurales en Santa Coloma de Gramanet en el mapa de promedios. b) Detalle de la oscuridad en caminos y carreteras rurales en Santa Coloma de Gramanet en el mapa de luminancia. c) Detalle de la oscuridad en caminos y carreteras rurales en Santa Coloma de Gramanet en la ortofoto de Cataluña.	57
Ilustración 39. a) Detalle de la C-31 a su paso por Badalona en el mapa de promedios. b) Detalle de la C-31 a su paso por Badalona en el mapa de luminancia. c) Detalle de la C-31 a su paso por Badalona en la ortofoto de Cataluña.	57
Ilustración 40. Máxima intensidad lumínica en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros.	58
Ilustración 41. a) Detalle del paso superior de la calle Castelldefels en Barcelona en el mapa de máximos. b) Detalle del paso superior de la calle Castelldefels en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle del paso superior de la calle Castelldefels en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.	59
Ilustración 42. a) Detalle del nudo de carreteras que cruzan la C-31 y la B-10 en Sant Adrià del Besòs en el mapa de máximos. b) Detalle del nudo de carreteras que cruzan la C-31 y la B-10 en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle del nudo de carreteras que cruzan la C-31 y la B-10 en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Cataluña.	59
Ilustración 43. Rendimiento visual a través del coeficiente global de uniformidad en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros.	60
Ilustración 44. Comportamiento lumínico a través del parámetro combinado en carreteras segmentadas en tramos de 10 metros.	61
Ilustración 45. a) Detalle del “Pont del Molinet” en Santa Coloma de Gramanet en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle del “Pont del Molinet” en Santa Coloma de Gramanet en el mapa de luminancia. c) Detalle del “Pont del Molinet” en Santa Coloma de Gramanet en la ortofoto de Cataluña.	61
Ilustración 46. a) Detalle del puente de la Av. Pi i Margall en Sant Adrià del Besòs en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle del puente de la Av. Pi i Margall en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle del puente de la Av. Pi i Margall en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Cataluña.	62
Ilustración 47. Promedio de la intensidad de la luz en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros.	63
Ilustración 48. a) Detalle de la playa de vías en los talleres de Renfe en Moncada i Reixac en el mapa de promedios. b) Detalle de la playa de vías en los talleres de Renfe en Moncada i Reixac en el mapa de luminancia. c) Detalle de la playa de vías en los talleres de Renfe en Moncada i Reixac en la ortofoto de Cataluña.	63

Ilustración 49. a) Detalle de las vías de Renfe cruzando por debajo del nudo de la Trinidad en Barcelona en el mapa de promedios. b) Detalle de las vías de Renfe cruzando por debajo del nudo de la Trinidad en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle de las vías de Renfe cruzando por debajo del nudo de la Trinidad en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.	64
Ilustración 50. a) Detalle del tranvía a su paso por Rambla de la mina en Sant Adrià del Besòs en el mapa de promedios. b) Detalle del tranvía a su paso por Rambla de la mina en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle del tranvía a su paso por Rambla de la mina en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Cataluña.	64
Ilustración 51. a) Detalle del taller de tranvías en Sant Adrià del Besòs en el mapa de promedios. b) Detalle del taller de tranvías en Sant Adrià del Besòs en el mapa de luminancia. c) Detalle del taller de tranvías en Sant Adrià del Besòs en la ortofoto de Cataluña.....	65
Ilustración 52. Máxima intensidad lumínica en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros.	65
Ilustración 53. Rendimiento visual a través del coeficiente global de uniformidad en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros.	66
Ilustración 54. Comportamiento lumínico a través del parámetro combinado en vías férreas segmentadas en tramos de 10 metros.	67
Ilustración 55. a) Detalle de las vías oscuras de ferrocarril al paso por Vallbona en Barcelona en el mapa del parámetro combinado. b) Detalle de las vías oscuras de ferrocarril al paso por Vallbona en Barcelona en el mapa de luminancia. c) Detalle de las vías oscuras de ferrocarril al paso por Vallbona en Barcelona en la ortofoto de Cataluña.	67
Ilustración 56. Representación geoespacial de las características urbanísticas.	77
Ilustración 57. <i>Detalle de la guía a través de la cual se han establecido los criterios de luminancia media, máxima y coeficiente global de uniformidad en todo el estudio.....</i>	86
Ilustración 58. Áreas de protección contra la contaminación lumínica sobre la ortoimagen de Instamaps.	87
Ilustración 59. Promedio de luz por distritos censales sobre fondo simple de Instamaps.	87

12.7 MAPAS

1. ZONAS DE PROTECCIÓN LUMÍNICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO
2. PUNTOS EN ZONA E1 CON LUMINANCIA SUPERIOR A 10 cd/m²
3. PUNTOS EN ZONA E2 CON LUMINANCIA SUPERIOR A 10 cd/m²
4. PUNTOS EN ZONA E3 CON LUMINANCIA SUPERIOR A 60 cd/m²
5. PUNTOS EN ZONA E4 CON LUMINANCIA SUPERIOR A 150 cd/m²
6. INTENSIDAD LUMÍNICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO
7. INTENSIDAD LUMÍNICA EN EL MUNICIPIO DE BADALONA
8. INTENSIDAD LUMÍNICA EN EL MUNICIPIO DE BARCELONA
9. INTENSIDAD LUMÍNICA EN EL MUNICIPIO DE MONCADA I REIXAC
10. INTENSIDAD LUMÍNICA EN EL MUNICIPIO DE SANTA COLOMA DE GRAMANET
11. INTENSIDAD LUMÍNICA EN EL MUNICIPIO DE SANT ADRIÀ DEL BESÒS
12. INTENSIDAD LUMÍNICA POR ÁREAS DE LUZ EN LA ZONA DE ESTUDIO
13. INTENSIDAD LUMÍNICA EN CALLES Y ZONAS TRANSITABLES EN LA ZONA DE ESTUDIO
14. RENDIMIENTO VISUAL A TRAVÉS DEL COEFICIENTE GLOBAL DE UNIFORMIDAD EN CALLES Y ZONAS TRANSITABLES
15. COMPORTAMIENTO LUMÍNICO A TRAVÉS DEL PARÁMETRO COMBINADO EN CALLES Y ZONAS TRANSITABLES
16. INTENSIDAD LUMÍNICA EN CARRETERAS EN LA ZONA DE ESTUDIO
17. INTENSIDAD MÁXIMA DE LUZ EN CARRETERAS EN LA ZONA DE ESTUDIO
18. RENDIMIENTO VISUAL A TRAVÉS DEL COEFICIENTE GLOBAL DE UNIFORMIDAD EN CARRETERAS
19. COMPORTAMIENTO LUMÍNICO A TRAVÉS DEL PARÁMETRO COMBINADO EN CARRETERAS
20. INTENSIDAD LUMÍNICA EN VÍAS FÉRREAS EN LA ZONA DE ESTUDIO
21. INTENSIDAD MÁXIMA DE LUZ EN VÍAS FÉRREAS EN LA ZONA DE ESTUDIO
22. RENDIMIENTO VISUAL A TRAVÉS DEL COEFICIENTE GLOBAL DE UNIFORMIDAD EN VÍAS FÉRREAS
23. COMPORTAMIENTO LUMÍNICO A TRAVÉS DEL PARÁMETRO COMBINADO EN VÍAS FÉRREAS
24. MAPA DE UBICACIÓN DE ELEMENTOS DESTACADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO POR MUNICIPIOS