

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA MAXIMIZAR LA REDUCCIÓN DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA DEL ENTORNO

Renovación del alumbrado exterior público en el
municipio de **Borobia (Soria)** bajo criterios
Starlight de nula contaminación lumínica

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

INDICE

1. OBJETO	3
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	5
4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS A IMPLANTAR EN EL MUNICIPIO DE BOROBIA.....	8
5. CONCLUSIÓN.....	2

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

1. OBJETO

El objeto de este informe es demostrar que la *medida nº 4: Lucha contra la contaminación lumínica, alumbrado eficiente e inteligente, Smart rural y TIC*, que se ha llevado a cabo en el **municipio de Borobia (Soria)** en la reforma integral de sus instalaciones de alumbrado exterior, es la que **maximiza la reducción de la contaminación lumínica del entorno**, debido a que no sólo va más allá de lo exigido en la normativa actual (RD1890/2008 en su ITC-EA-03) sino también, de las propias exigencias de las bases del DUS 5000 dentro de esta medida.

2. INTRODUCCIÓN

El exceso de iluminación artificial nocturna (no justificada, dirigida de forma no adecuada y en rangos espectrales perjudiciales) es y debe ser considerada como un tipo de contaminación medioambiental, al igual que el ruido o la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, entre otros.

Está completamente demostrado con rotundos estudios técnicos y científicos que la contaminación lumínica no sólo es la pérdida del paisaje nocturno y cielo estrellado, sino que existen numerosas repercusiones negativas a nivel energético, sobre la salud de las personas, el medioambiente y la biodiversidad nocturna, y que derivan principalmente, en que la alternancia entre noche y día se ha establecido como una necesidad esencial en el funcionamiento de los ecosistemas desde que la vida surgió en nuestro planeta y actualmente se está viendo afectada por el exceso de iluminación artificial nocturna.

En este sentido, la contaminación lumínica presenta numerosas repercusiones negativas a nivel:

- **Energético y económico**, por exceso de consumo que genera la luz que es innecesaria y la que se emite hacia zonas que no deben ser iluminadas (ventanas y el cielo).
- **Emisiones GEIs**. Incremento del número de emisiones de gases de efecto invernadero lo que contribuye al **cambio climático**.
- **Seguridad** de los usuarios, principalmente por deslumbramiento de luminarias diseñadas de forma deficiente y también por el color de la luz con longitudes de onda cortas (azul).

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

- **Salud** de las personas. La casi desaparición de las horas de oscuridad en nuestro día a día produce cronodisrupción en nuestro organismo (desajuste de nuestro reloj biológico y ritmo circadiano) que está asociado a una mayor incidencia de enfermedades: diabetes, deterioro cognitivo, hipertensión, envejecimiento acelerado, obesidad, depresión, inmunodepresión, infertilidad, insomnio, etc. (*Reiter R et al, 2011*). Y también distintos tipos de cáncer (*Kloog I et. al, 2009, entre otras*). Premio Nobel de Medicina de 2017.
- **Biodiversidad**, ya que merma las capacidades de supervivencia y comportamiento de muchas especies animales (el 65% de las especies animales tiene hábitos nocturnos) y plantas (*Hölker F et al, 2010*).
- **Ciencia**, por el aumento del brillo del fondo del cielo y por tanto la pérdida de la calidad del cielo nocturno para su uso científico (astronomía).
- **Cultura**. Tener un cielo nocturno apenas sin estrellas en nuestras ciudades, está haciendo que perdamos el vínculo con el conocimiento y nuestra esencia, puesto que somos la primera civilización que no mira a las estrellas (fue calendario agrícola, sistema de orientación, reloj, ...). Esto es especialmente negativo para las generaciones futuras que no tienen la oportunidad de conocer y disfrutar del cielo porque no lo ven. En la actualidad, casi el 90% de la población que vive en países desarrollados no puede ver la Vía Láctea.

Las instalaciones de alumbrado exterior de los municipios son la principal fuente de contaminación lumínica, por ello su limitación y la recuperación (dentro de las posibilidades reales) de la calidad del cielo nocturno debe formar parte de la nueva cultura de las ciudades inteligentes, sostenibles y comprometidas con el cambio climático.

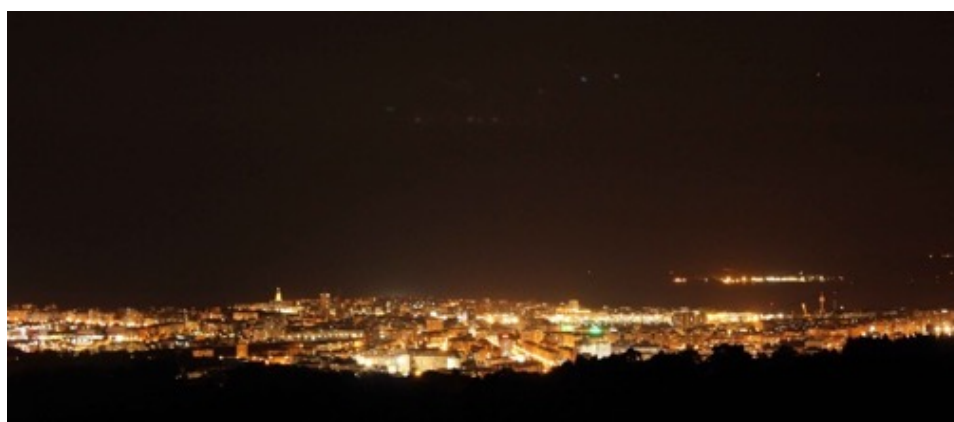


Imagen 1: Panorámica nocturna de un municipio de más de 200.000 habitantes

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

3. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Los parámetros físicos y medioambientales que condicionan los criterios a cumplir por las instalaciones de alumbrado exterior en relación a la contaminación lumínica para minimizar en la medida de lo posible su impacto negativo en el medio nocturno, vienen definidos principalmente por el efecto de esparcimiento de la luz en la atmósfera.

Cuando la luz atraviesa la atmósfera, interacciona tanto con las moléculas gaseosas que constituyen el aire "limpio", como con las partículas grandes en suspensión, de naturaleza sólida o líquida, y que reciben la denominación genérica de "aerosoles".

El primero recibe el nombre de *Esparcimiento de Rayleigh*, y es el fenómeno que explica por qué el cielo se tiñe de azul en las horas centrales del día y de rojo anaranjado en la salida y puesta del sol. La intensidad del fenómeno es inversamente proporcional a la 4ª potencia de la longitud de onda, por lo que es fácil comprobar que las longitudes de onda del azul sufren este efecto con cuatro veces más de intensidad que la parte roja del espectro, y la UV trece veces más.

Estas longitudes de onda corta predominan en las lámparas de luz blanca, con TCC $\geq 3000k$, como Vapor de Mercurio (prohibido por ley), Halogenuros Metálicos, LEDs blancos e inducción, por lo que son más contaminantes que las lámparas de color cálido, TCC $\leq 2700k$, como Sodio de Alta y Baja Presión, LED cálidos, principalmente.

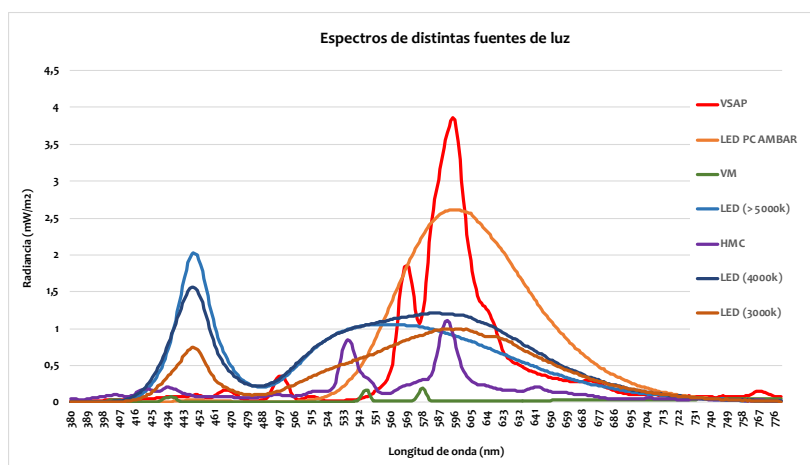


Imagen 2: Espectros de distintas fuentes de luz. Elaboración propia Lumínica Ambiental

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

Además, las radiaciones en torno a los 450nm son las que controlan ritmos circadianos de los seres vivos, por lo que su emisión nocturna produce daños y reducciones en la biodiversidad de los entornos naturales y enfermedades en las personas (incidencia en algunos tipos de cáncer, trastornos del sueño, etc.).

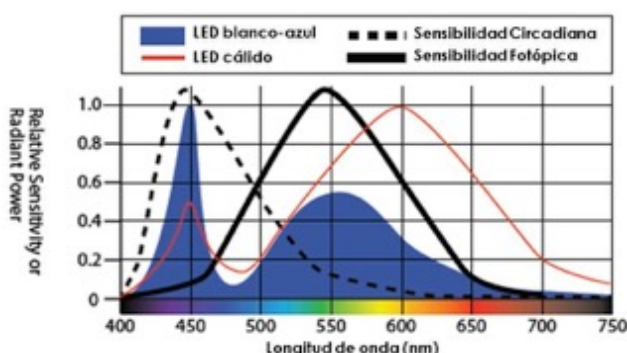


Imagen 3. Curvas visión fotópica y ritmo circadiano humano frente al espectro típico de LED cálido y frío

Por todo esto, las fuentes de luz con una TCC ≥ 3000 k son más contaminantes que las que tienen una TCC ≤ 2200 k, y éstas últimas son las elegidas para la renovación integral del alumbrado en Borobia.

El segundo fenómeno, *Esparcimiento de Mie*, produce el esparcimiento de la luz en direcciones preferentemente alineadas a lo largo de la dirección de propagación debido a las partículas en suspensión, lo que hace que el flujo emitido por luminarias con ángulos de emisión entre 0-5% desde la horizontal, tengan un efecto desproporcionado en el resplandor luminoso nocturno a decenas de kilómetros de la fuente.

Por ejemplo, luminarias con FHSinst = 3% producen entre un 80% y un 290% más de resplandor luminoso a 50 km y 200 km, respectivamente, que luminarias con FHSinst 0%, y en un núcleo urbano con un 10% de FHSinst, la emisión directa produce las 3/4 partes del resplandor a 50 km y más de las 9/10 partes del resplandor a 200 km.

Por todo esto, las luminarias con FHSinst $\geq 3\%$ son mucho más contaminantes que las que tienen un FHSinst $< 3\%$, y en concreto para la renovación integral del alumbrado en Borobia se han elegido luminarias con FHSinst $\leq 1\%$.

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

Por todo ello, las **instalaciones de alumbrado exterior a implantar en Borobia, maximizan la reducción de la contaminación lumínica en el entorno**, consiguiendo una correcta calidad de la iluminación a la vez que la preservación del medio nocturno, cumpliendo:

- El control y la regulación en la utilización de fuentes de luz con emisión en la parte azul del espectro visible y Ultravioleta ($< 500 \text{ nm}$). Con la utilización de fuentes de luz con $\text{TCC} \leq 2200 \text{ K}$ que mejora lo exigido en las bases del DUS5000 que es de $\text{TCC} \leq 3000 \text{ k}$.
- La utilización de luminarias con $\text{FHSinst} < 1\%$, que mejora lo exigido en las bases del DUS5000 que es de $\text{FHSinst} < 3\%$.
- Se optimizan los equipos e instalaciones para no sobreiluminar, ajustando los niveles de iluminación según necesidades de uso y características de la vía principalmente, para evitar la reflexión de la luz que contribuye de forma importante al resplandor luminoso nocturno o brillo del fondo del cielo.
- Se instalan sistemas de regulación y control de la iluminación a partir de ciertas horas nocturnas donde disminuye la actividad (sistemas de telegestión y driver autónomo programable) con una reducción de al menos el 50% en horas nocturnas y optimización del horario de funcionamiento en periodo nominal y reducido.

Implantar este tipo de instalaciones, con un justo y adecuado nivel de iluminación, no sólo genera beneficios medioambientales y sobre la salud, sino también económicos, dado que permiten reducir la potencia de las lámparas y por tanto reducir el consumo eléctrico en nuestras calles, sin mermar las condiciones de seguridad a los usuarios.

Además, se abre la posibilidad real de generar una nueva vía de economía verde local, a través del turismo de las estrellas o astroturismo, utilizando el cielo nocturno estrellado sin contaminación lumínica como nuevo recurso turístico. Borobia, ha recibido la certificación como municipio Starlight en el año 2023, y está incluido dentro de la zona núcleo de la Reserva Starlight de la Provincia de Soria.

En el apartado siguiente se aportan datos objetivos de cada uno de estos parámetros que maximizan la reducción de la contaminación lumínica en el municipio.

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS A IMPLANTAR EN EL MUNICIPIO DE BOROBIA

Según todo lo anterior, se describen a continuación las soluciones que se han ejecutado en el municipio de Borobia y que justifican que dichas soluciones son las que maximizan la reducción de la contaminación lumínica del entorno (optimización equipos, automatismos, horarios, minimización del flujo hemisférico superior, etc.).

4.1. Horarios y funcionamiento de la instalación

Mediante la instalación drivers programables en cada punto de luz y telegestión en el cuadro, se ha planificado la reducción del flujo luminoso en función de los horarios nocturnos de al menos el 50 %, lo que permitirá también maximizar la reducción de la contaminación lumínica frente a reducciones habituales del 40%.

Además, se ha optimizado el periodo de funcionamiento de unas 4.200 horas anuales, considerando un periodo de 1400 horas para el funcionamiento en potencia nominal y 2800 horas para el funcionamiento reducido (de al menos el 50% de la potencia).

4.2. Optimización de equipos

En cuanto a la optimización de equipos principalmente es necesario optimizar la potencia de las luminarias para garantizar el cumplimiento de la ITC-02 del RD1890/2008 pero sin sobreiluminar para evitar la reflexión de la luz en las superficies y fachadas que se pierden hacia la bóveda celeste, incrementado el brillo del fondo del cielo.

En este sentido se ha realizado una zonificación lumínica exhaustiva de las calles del municipio para definir las clases de alumbrado y por tanto los niveles de iluminación necesarios.

En base a eso se definen las clases de alumbrado más bajas posibles dentro de las exigencias de las bases y del RD1890, en concreto:

- Clase de alumbrado ME6: 30% de las calles
- Clase de alumbrado S4: 70% de las calles

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

Para conseguir estos objetivos se requieren de unas ópticas muy específicas que consigan estos niveles de iluminación, pero garantizando una alta uniformidad. Las luminarias utilizadas en la renovación del alumbrado exterior, consiguen este doble objetivo

La optimización de los equipos por ello es máxima, dado que se van a instalar potencias desde los 8w a los 27w y con sistemas de regulación de flujo luminoso con telegestión en el cuadro.

4.3. Flujo Hemisférico Superior Instalado

Las luminarias a instalar están certificadas y los ensayos en laboratorio presentan un FHS < 1% (frente al 15% de las luminarias tipo vial y 40% de tipo villa actuales) y que se instalará en posición horizontal sin inclinación, controlado en la dirección de obra, para conseguir un $FHS_{inst} < 1\%$.

Como se ha comentado anteriormente, pequeñas variaciones en este parámetro influyen en los valores del resplandor luminoso nocturno o brillo del fondo del cielo a decenas e incluso centenas de kilómetros de las luminarias. En la tabla siguiente se muestran los resultados de los ratios de resplandor para luminarias con diferentes FHS% y medidos en puntos de referencia a distintas distancias:

Uplight	Sky-glow ratio		
	50 km	100 km	200 km
0%	1.0	1.0	1.0
1%	1.3	1.6	2.0
3%	1.8	2.7	3.9
10%	3.8	6.7	10.6

Imagen 4. Tabla de los valores Sky-Glow

Fuente: C. Luginbuhl, C. E. Walker et al. Lighting and Astronomy. Physics Today Magazine December 2009

En concreto, luminarias con FHS_{inst} 3% (exigencia del DUS5000) producen entre un 50% y un 190% más de resplandor que luminarias con FHS_{inst} 1% a 50 Km y 200 Km respectivamente. Por tanto, la alternativa que se ha seleccionado para la renovación del alumbrado exterior en Borobia ($FHS_{inst} < 1\%$), es la que más maximiza la reducción de la contaminación lumínica.

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

Además, en base a los criterios de zonificación lumínica establecidos en la legislación estatal en materia de alumbrado exterior (ITC-EA-03 del RD1890) y considerando también la zonificación por contaminación lumínica realizada en Soria y que se aplicó a la renovación de una parte importante de la provincia a través de fondos FEDER-IDAE, **Borobia** se caracteriza como zona E2 (entorno rural) y como E1 (espacios naturales protegidos), por lo que la alternativa seleccionada mejora también sustancialmente los criterios exigidos en la normativa estatal.

4.4. Temperatura de Color Correlacionada y Radiancia espectral

Como se ha comentado anteriormente, las longitudes de onda corta (color azul con longitud de onda < 500 nm) que predominan en las lámparas de luz blanca, con TCC ≥ 3000 k, son mucho más contaminantes que las fuentes de luz de color cálido con TCC ≤ 2700 k que tienen menor componente de radiación azul.

Cuanto menor sea la componente espectral por debajo de los 500 nm (normalmente también con menor TCC, pero no siempre) la fuente de luz es menos contaminante.

Para cuantificar este aspecto técnico, se introduce el denominado Índice Espectral G (utilizado en JRCs europeos, en el ámbito científico) que mide la cantidad de radiación azul que emite una fuente de luz en el rango visible. Y también el porcentaje de luz azul por debajo de los 500 nm (índice Q).

A continuación, se presentan valores empíricos de ambos parámetros, obtenidos a partir de mediciones realizadas in situ de distintas fuentes de luz:

PARÁMETROS ESPECTRALES Y DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA					
Puntos de luz	Radiancia espectral				
fuentes de luz	TCC (k)	IRC	Lambda P (nm)	Índice G	Q (%L500, V)
LED 2200 K	2.156	74,84	610	2,32	12,0%
VSAP (Vapor Sodio Alta Presión)	1.848	20,89	587	2,20	13,0%
HM (Halogenuros Metálicos)	3.646	57,74	592	1,43	27,0%
LED 3000 K	3.151	73,70	595	1,29	30,0%
LED 4000 K	4.100	77,33	449	0,73	51,0%
VM (Vapor de Mercurio)	4.328	39,94	546	0,65	55,0%
LED 5000 K	5.808	74,52	449	0,46	65,0%

Imagen 5. Medias espectrales de fuentes de luz habituales de alumbrado exterior
Fuente: LUMÍNICA AMBIENTAL. Proyectos: Interreg Pirineos La Nuit y FEDER-IDAE Soria

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

Como se observa de la tabla anterior, las fuentes de luz con TCC 2200k, que son las elegidas para la renovación del alumbrado exterior en Borobia, tienen mayor índice espectral y menor porcentaje Q por debajo de los 500nm. Por lo tanto, son las que maximizan la reducción de la contaminación lumínica en el entorno de dicho municipio.

5. RESULTADOS MEJORA MEDIOAMBIENTAL POR CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Para evaluar de forma objetiva la reducción de la contaminación lumínica en el municipio de Borobia, se ha realizado un análisis detallado sobre los puntos de luz instalados en esta obra de renovación de su alumbrado exterior.

Se parte del inventario completo de las luminarias y fuentes de luz y de los parámetros específicos de cada punto de luz que son determinantes para la evaluación de la contaminación lumínica: FHSinst (%), rendimiento (%), potencia (w), flujo luminoso (lm), eficacia (lw/w), TCC (K), principalmente.

Con estos datos asignados a cada punto de luz, obtenemos un resultado del antes y después de las renovaciones realizadas en términos de contaminación lumínica.

En especial se han obtenido los siguientes parámetros:

- La cantidad total de flujo emitido al cielo, combinando los datos de emisión lumínica con el FHSinst y considerando reflectividades de los pavimentos. Si bien, al ser el mismo antes y después de la obra, se podría obviar.
- El índice espectral G, que indica la cantidad de luz azul, la más contaminante, emitida directamente al cielo y al suelo.
- Potencia emitida (en w) de luz azul (la más contaminante).
- Flujo o intensidad (en lm) emitido hacia el hemisferio superior.
- Cantidad (en w) de luz azul emitida a la atmósfera.

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

Los resultados de la situación previa y de la posterior tras la reforma, son los siguientes:

SITUACIÓN PRE							
BOROBIA		CONSUMO ELECTRICIDAD		CONTAMINACIÓN LUMÍNICA			
CM	Nº ptos. Luz	Pt (KW)	Consumo (kWh/año)	Pt azul (kW)	Intensidad HS (klm)	Intensidad SUELO (klm)	Luz azul HS (kW)
01	156	8,36	35.128,80	2.422,31	430.320,17	2.312.777,19	411,65
TOTAL	156	8,36	35.128,80	2.422,31	430.320,17	2.312.777,19	411,65

SITUACIÓN POST							
BOROBIA		CONSUMO ELECTRICIDAD		CONTAMINACIÓN LUMÍNICA			
CM	Nº ptos. Luz	Pt (KW)	Consumo (kWh/año)	Pt azul (kW)	Intensidad HS (klm)	Intensidad SUELO (klm)	Luz azul HS (kW)
01	156	2,51	7.036,40	168,53	9.752,30	965.477,76	1,69
TOTAL	156	2,51	7.036,40	168,53	9.752,30	965.477,76	1,69

MEJORA							
BOROBIA		CONSUMO ELECTRICIDAD		CONTAMINACIÓN LUMÍNICA			
CM	Nº ptos. Luz	Pt (KW)	Consumo (kWh/año)	Pt azul (kW)	Intensidad HS (klm)	Intensidad SUELO (klm)	Luz azul HS (kW)
01	-	5,85	28.092,40	2.253,78	420.567,87	1.347.299,43	409,96
TOTAL	-	5,85	28.092,40	2.253,78	420.567,87	1.347.299,43	409,96

MEJORA (%)							
BOROBIA		CONSUMO ELECTRICIDAD		CONTAMINACIÓN LUMÍNICA			
CM	Nº ptos. Luz	Pt (KW)	Consumo (kWh/año)	Pt azul (kW)	Intensidad HS (klm)	Intensidad SUELO (klm)	Luz azul HS (kW)
01	-	69,95%	79,97%	93,04%	97,73%	58,25%	99,59%
TOTAL	-	69,95%	79,97%	93,04%	97,73%	58,25%	99,59%

Imagen 2: reducción objetiva de la contaminación lumínica tras la obra de renovación de alumbrado exterior

Como se observa, la cantidad de contaminación lumínica en términos de flujo luminoso emitido directamente hacia el cielo, se reduce en casi un 98%. Y si se incluye la reducción en la emisión de luz azul, que es la más contaminante, en general la mejora es del 93% pero en emisión directa hacia el cielo, es así el 100%.

Renovación integral de las instalaciones de alumbrado exterior público del municipio de Borobia (Soria) bajo criterios Starlight de nula contaminación lumínica

6. CONCLUSIÓN

Tras la renovación del alumbrado exterior en el municipio Starlight de Borobia, se logra una reducción de casi el 93 % de la luz azul que se emitía anteriormente. Además, si se tiene en cuenta, que parte de esa luz azul previamente a la reforma se emitía directamente hacia el cielo, mientras que ahora prácticamente no se emite directamente nada hacia el cielo, la mejora en este aspecto es casi del 100%, que es una mejora radical.

Por todo lo descrito en este documento, entendemos que queda demostrado que la solución tecnológica seleccionada para la renovación del alumbrado en el municipio de Borobia (Soria) es la que más maximiza la reducción de la contaminación lumínica en el entorno.

Firmado:



Fdo.: Susana Malón Giménez

Licenciada Ciencias Físicas. N° colegiada COFIS: 4382

Miembro de la Junta de Gobierno del Comité Español de Iluminación (CEI).

Coordinadora del grupo de trabajo de contaminación lumínica del CEI

Auditora Starlight