

Resumen divulgativo del estudio:

Evaluación del impacto del ALAN sobre lepidópteros nocturnos en núcleos rurales pirenaicos

Pirineos La Nuit EFA233/16



Noviembre, 2020

Carlos Armendariz Garraza¹, Iker Pardo Guereño² y Kike Vergara Jimenez¹

¹Gestión Ambiental de Navarra (GAN-NIK);

²Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU). Dpto. Biología Vegetal y Ecología – Landareen Biologia eta Ekologia Saila.

Interreg
POCTEFA



Gobierno de Navarra  Nafarroako Gobernua



Nafarroako Ingurumen Kudeaketa, S.A.  Gestión Ambiental de Navarra, S.A.

 Euskal Herriko Unibertsitatea
Universidad del País Vasco

El presente documento es un resumen divulgativo del estudio “Evaluación del impacto del ALAN sobre lepidópteros nocturnos en núcleos rurales pirenaicos (Pirineos La Nuit EFA233/16)”, (Asistencia Técnica – Código OTRI: 2020.0048)

El trabajo original forma parte de los estudios científicos propuestos por la sociedad pública navarra GAN-NIK en el Proyecto Europeo “[Pirineos La Nuit](#). Estrategia pirenaica para la protección y mejora de las condiciones del medio nocturno” POCTEFA EFA233/16 PLN, financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Este proyecto ha sido programado en la segunda convocatoria del Programa Interreg V-A ESPAÑA-FRANCIA-ANDORRA (POCTEFA 2014-2020).

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	6
ÁREA DE ESTUDIO	7
MÉTODO DE MUESTREO (TRAMPAS)	10
RESULTADOS	11
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	14
CONCLUSIONES	18
RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DEL ALUMBRADO	20

INTRODUCCIÓN

La alteración de los niveles de iluminación natural de los paisajes nocturnos causada por fuentes de luz de origen antrópico tiene un impacto potencial sobre las especies de fauna crepusculares y nocturnas de los hábitats afectados. El ALAN (*artificial light at night*), como se denomina comúnmente a este tipo de contaminación lumínica, está causado por múltiples fuentes, entre las que se incluyen el alumbrado público de calles y viales. Estas fuentes contribuyen al ALAN de manera tanto directa como indirecta a través de la luz que se esparce en la atmósfera. Se estima que más de un 88% de la superficie de Europa sufre este tipo de contaminación lumínica, no estando exentos ni siquiera los espacios naturales. Durante las últimas décadas el nivel de exposición al ALAN de los ecosistemas (semi)naturales se ha visto incrementado de manera sustancial y es esperable que continúe al alza en la medida en que la población y los espacios urbanizados en torno a estos ecosistemas sigan en aumento.

Efectos del ALAN sobre macrolepidópteros nocturnos

Desde mediados del siglo pasado se han ido acumulando numerosas evidencias del impacto del ALAN sobre un amplio espectro de seres vivos (plantas, invertebrados, mamíferos, aves, etc.) y, más recientemente, sobre procesos ecológicos y servicios ecosistémicos fundamentales (e.g. polinización), consecuencia de los denominados efectos cascada. Entre los impactos biológicos mejor documentados se incluyen cambios en la fenología, la predación, la reproducción, la capacidad de orientación y migración, el comportamiento, la comunicación y la fisiología de los seres vivos.

Uno de los grupos faunísticos más vulnerables frente a los efectos del ALAN son los macrolepidópteros nocturnos (grandes polillas), debido a que muchas de estas especies presentan fototaxis positiva. Esta tendencia de los individuos a volar desde la oscuridad hacia las fuentes de luz hace que su actividad normal se vea alterada por la contaminación lumínica. En concreto, el ALAN puede generar interferencias en funciones básicas tales como la alimentación y la reproducción. Estos efectos están bien documentados en, al menos, los nóctuidos, uno de los grupos de macrolepidópteros más abundantes y diversos.

Una vez los individuos vuelan hacia la fuente de luz artificial, la mayoría quedan atrapados en el entorno de la lámpara, pudiendo llegar a morir por agotamiento. En algunas ocasiones, los individuos colisionan con la luminaria y mueren por quemadura. Aquellos

individuos que consiguen escapar de la zona de influencia de la luz buscan refugio en la vegetación y/o en zonas oscuras próximas, donde permanecen en quiescencia. Estos ejemplares pueden permanecer inactivos durante un tiempo, en ocasiones durante toda la noche, e incluso volver a volar hacia la luz tras recuperar su actividad. En cualquiera de los casos, los individuos quedan incapacitados temporalmente para llevar a cabo funciones básicas y durante ese periodo son más vulnerables a los predadores. Otros efectos indirectos del ALAN sobre la puesta, el riesgo de infección y las relaciones tróficas han sido también descritos en la literatura.

Tipos de luz artificial

El grado de atracción que ejercen las fuentes de ALAN sobre los insectos nocturnos en general, y los macrolepidópteros en particular, depende principalmente de la intensidad y composición del espectro lumínico de la fuente de luz. Las macro-polillas se ven atraídas particularmente por la luz ultravioleta. No obstante, estudios recientes han demostrado que las emisiones en el rango del azul y el verde pueden ser también muy atractivas para este grupo de lepidópteros.

Una parte importante del ALAN de los núcleos urbanos y rurales proviene del alumbrado público, cuya composición lumínica ha cambiado de manera sustancial durante las últimas décadas. A partir de los setenta comenzaron a proliferar en toda Europa las lámparas de vapor de sodio a alta presión (VSAP; caracterizadas por una luz cálida de color amarillo-naranja), en detrimento de las lámparas blancas tradicionales de vapor de mercurio (VM) y de halogenuros metálicos (HM), mucho más atractivas para los insectos por emitir radiación en el rango del ultravioleta (UV). Actualmente, con la llegada de la tecnología de diodo emisor de luz (*Light Emitting Diode*, en adelante LED), la tendencia global ha sido utilizar este tipo de lámpara mucho más eficiente en el alumbrado público. Aunque el espectro del LED blanco (el tipo de LED más frecuentemente usado para el alumbrado) no contiene luz UV, las emisiones abarcan todo el espectro visible (400-700 nm), con picos en el azul y el verde. Si bien las lámparas de LED blanco son menos atractivas para algunos tipos de insectos que las de VM y HM, no son pocos los estudios que alertan de las consecuencias nocivas que el uso generalizado de este tipo de alumbrado podría tener sobre la biodiversidad (Davies et al., 2013; Donners et al., 2018; van Grunsven et al., 2020).

A escala regional no ha habido una coherencia en el tipo de lámpara utilizada para el alumbrado público: los tipos de lámparas varían de una población a otra e incluso dentro de un mismo núcleo. En 2007 se aprobó el Reglamento de eficiencia energética de las

instalaciones de alumbrado exterior (Decreto Foral 199/2007), en el que se instaba a utilizar lámparas de vapor de sodio de alta y baja presión en detrimento de las lámparas de VM y HMC (este último tipo sólo permitido en localidades de menos de 300 habitantes). El Plan Energético de Navarra Horizonte 2030 aprobado por acuerdo de Gobierno de Navarra el 24 de enero de 2018 contempla medidas orientadas al consumo y ahorro de energía abogando por “*implantar (el LED) poco a poco pero solo en nuevas instalaciones y cuando ya las antiguas instalaciones estén ya amortizadas*”. Siguiendo estas recomendaciones, algunos pueblos han empezado a sustituir las antiguas lámparas de descarga por otras de LED blanco. En el caso del Valle de Roncal, la obtención del sello “Destino Turístico Starlight” para la protección del cielo estrellado frente a la contaminación lumínica (<https://www.fundacionstarlight.org>), ha motivado que varias localidades hayan comenzado a reemplazar las lámparas existentes por un nuevo tipo de LED denominado PC-Ámbar (*Phosphor-Converted Amber*). Se trata de un sistema de iluminación con reducidas emisiones de onda corta y pico de emisión en colores cálidos. Este tipo de lámpara ha levantado grandes expectativas por su baja interferencia sobre las observaciones astronómicas (está certificada por la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo del Instituto de Astrofísica de Canarias). Además, al apenas emitir luz por debajo de los 500 nm se le presupone una menor incidencia sobre la fauna nocturna que otras fuentes de luz existentes. Varios núcleos situados en entornos naturales protegidos de Cataluña y Canarias han comenzado ya a instalar este tipo de lámpara. Sin embargo, más allá de las expectativas teóricas, hasta el presente trabajo no tenemos constancia de estudios empíricos que avalen el menor impacto de este tipo de lámpara sobre la fauna nocturna.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo general del presente estudio ha sido evaluar el grado de atracción que ejercen los diferentes tipos de lámparas usados en el alumbrado público urbano sobre los macrolepidópteros nocturnos del pirineo occidental (Navarra). Se trata de una de las regiones con menor contaminación lumínica de la Península Ibérica.

La mayoría de las localidades pirenaicas son de tamaño pequeño y están situadas en una matriz de hábitats naturales que contienen elementos notables de biodiversidad. Entre ellos cabe destacar las poblaciones de *Graellsia isabellae* y *Proserpinus proserpina*, especies de macrolepidópteros de interés comunitario según la Directiva Hábitats 92/43/CEE e incluidas en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (Real Decreto 139/2011) (Figura 1)



Figura 1. Especies de interés comunitario presentes en el área de estudio: *Graellsia isabellae* (izquierda) y *Proserpinus proserpina* (derecha)

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en 12 pueblos del pirineo navarro (figura 2), y para su selección se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- i. Existencia de lugares de alto valor para la conservación de la biodiversidad (Zonas Especiales de Conservación – Red Natura 2000)
- ii. Presencia de especies catalogadas
- iii. Representación de la tipología de lámparas existentes en el pirineo navarro.

Todas las localidades seleccionadas, por tanto, están situadas dentro o en los límites de lugares naturales de la Red Natura 2000, junto a grandes masas forestales de pino silvestre que forman el hábitat potencial de *G. isabellae* y junto a ríos o regatas habitados por *P. prosepina* (Tabla 1)

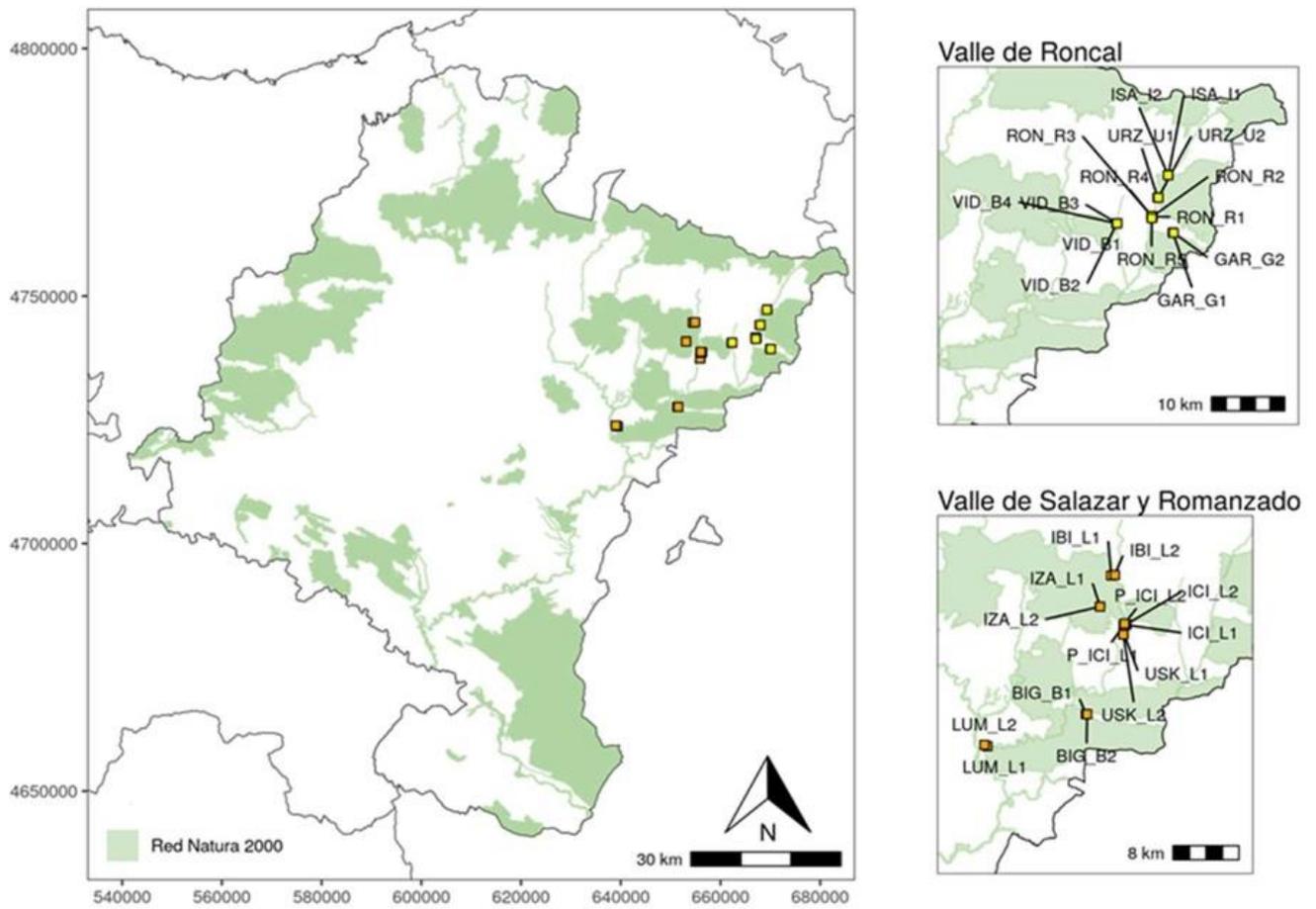


Figura 2. Localización de los puntos de muestreo con respecto a la Red Natura 2000

Tabla 1. Situación de las farolas muestreadas con lámparas de vapor de mercurio (VM), halogenuros metálicos cerámicos (HMC), vapor de sodio a alta presión (VSAP), LED blanco y LED PC-Ámbar. Todas las farolas están situadas en las proximidades de masas de pino habitadas por *Graellsia isabellae* (GRAISA) y algunas de ellas atravesadas por ríos o regatas con presencia constatada de *Proserpinus proserpina* (PROPRO).

Localidad	Código farola	Coordenadas		Campaña			Tipo de lámpara	Especie catalogada
		X	Y	Año	Inicio	Fin		
Garde	GAR_G1	669968	4739333	2018	06-05-2018	04-07-2018	HMC	GRAISA
	GAR_G2	670084	4739283					PROPRO
Isaba / Izaba	ISA_I1	669359	4747293	2018	06-05-2018	04-07-2018	VM	GRAISA
	ISA_I2	669319	4747243					PROPRO
Bigüezal	BIG_B1	651385	4727614	2018	06-05-2018	04-07-2018	VSAP	GRAISA
	BIG_B2	651518	4727601					PROPRO
Lumbier / Irunberri	LUM_L1	639369	4723677	2018	06-05-2018	04-07-2018	VSAP	GRAISA
	LUM_L2	639000	4723846					PROPRO
Urzainqui / Urzainki	URZ_U1	667887	4744149	2018	06-05-2018	04-07-2018	VSAP	GRAISA
	URZ_U2	667990	4744158					PROPRO
Ibilicieta / Ibiltzieta	IBI_L1	654458	4744633	2019	02-05-2019	01-07-2019	LED blanco	GRAISA
	IBI_L2	654909	4744684					PROPRO
Uscarrés / Uskartze	USK_L1	655960	4737613	2019	02-05-2019	01-07-2019	LED blanco	GRAISA
	USK_L2	655939	4739374					
Iciz / Izize	ICI_L1	656270	4738561	2019	02-05-2019	01-07-2019	VM	GRAISA
	ICI_L2	656308	4738631					
Izal / Itzalle	IZA_L1	653097	4740829	2019	02-05-2019	01-07-2019	VM	GRAISA
	IZA_L2	653109	4740805					PROPRO
Polígono Iciz / Izize	P_ICI_L1	655972	4738492	2019	02-05-2019	01-07-2019	VSAP	GRAISA
	P_ICI_L2	656069	4738721					PROPRO
Roncal / Erronkari	RON_R1	667196	4741544	2020	05-05-2020	29-06-2020	PC-Ámbar	GRAISA PROPRO
	RON_R2	667188	4741554					
	RON_R3	667047	4741618					
	RON_R4	667047	4741629					
	RON_R5	667096	4741308					
Vidángoz / Bidankoze	VID_B1	662245	4740581	2020	05-05-2020	29-06-2020	PC-Ámbar	GRAISA PROPRO
	VID_B2	662286	4740571					
	VID_B3	662342	4740605					
	VID_B4	662343	4740583					

MÉTODO DE MUESTREO (TRAMPAS)

Para evaluar la atracción de las diferentes lámparas a los lepidópteros nocturnos se utilizaron trampas colgadas en las farolas (figura 3).



Figura 3. Trampa de intercepción colgada de una luminaria tipo villa. Los insectos voladores atraídos por la luz chocan contra los paneles y caen al fondo de la trampa. Ibilzieta (Valle de Salazar).

Se instalaron trampas en los diferentes tipos de lámparas existentes en los pueblos del pirineo navarro: vapor de mercurio (VM), halogenuros metálicos cerámicos (HMC), vapor de sodio a alta presión (VSAP), LED blanco y LED PC-Ámbar. Los muestreos se llevaron a cabo durante 2018, 2019 y 2020 (Tabla 1).

Las trampas se colocaron a principios de mayo coincidiendo con el periodo de vuelo de *G. isabellae* y *P. proserpina* (mayo – julio) y se mantuvieron operativas 59, 60 y 55 días consecutivos durante las campañas de 2018, 2019 y 2020, respectivamente.

RESULTADOS

El número de capturas en las trampas instaladas en las farolas ascendió a un total de 2.369 individuos de 143 taxones pertenecientes a nueve órdenes de insectos diferentes. El 82% de los individuos capturados fueron lepidópteros (1.625 macrolepidópteros y 318 microlepidópteros) y el 14,5% coleópteros (343). La mayoría de las capturas de macrolepidópteros se concentraron en solo nueve familias. Cabe destacar que cerca de la mitad (43%) de los macrolepidópteros capturados fueron de la familia de los nóctuidos. El resto de las familias de macrolepidópteros (12) fueron capturadas de manera puntual (menos de 10 individuos capturados por familia durante los muestreos).

Individuos

El promedio de capturas de macrolepidópteros fue de 56 individuos por trampa, aunque se observó una enorme variabilidad entre farolas de diferentes localidades (rango de 0-331 individuos) y con diferentes tipos de lámparas (Figuras 4 y 5). De media se capturaron 96 individuos en lámparas de VM, 111 en lámparas de HMC, 37 en lámparas de VSAP, 36 en lámparas de LED y 13 en lámparas de PC-Ámbar.

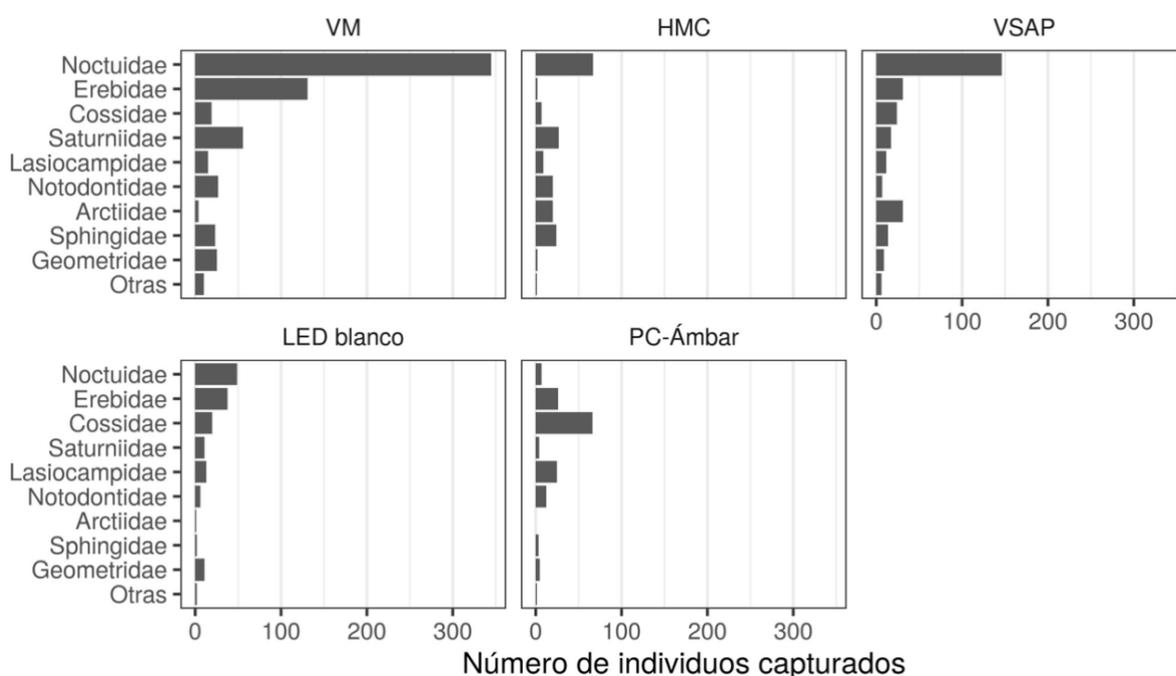


Figura 4. Número de capturas acumuladas por familias de macrolepidópteros y tipo de lámpara.

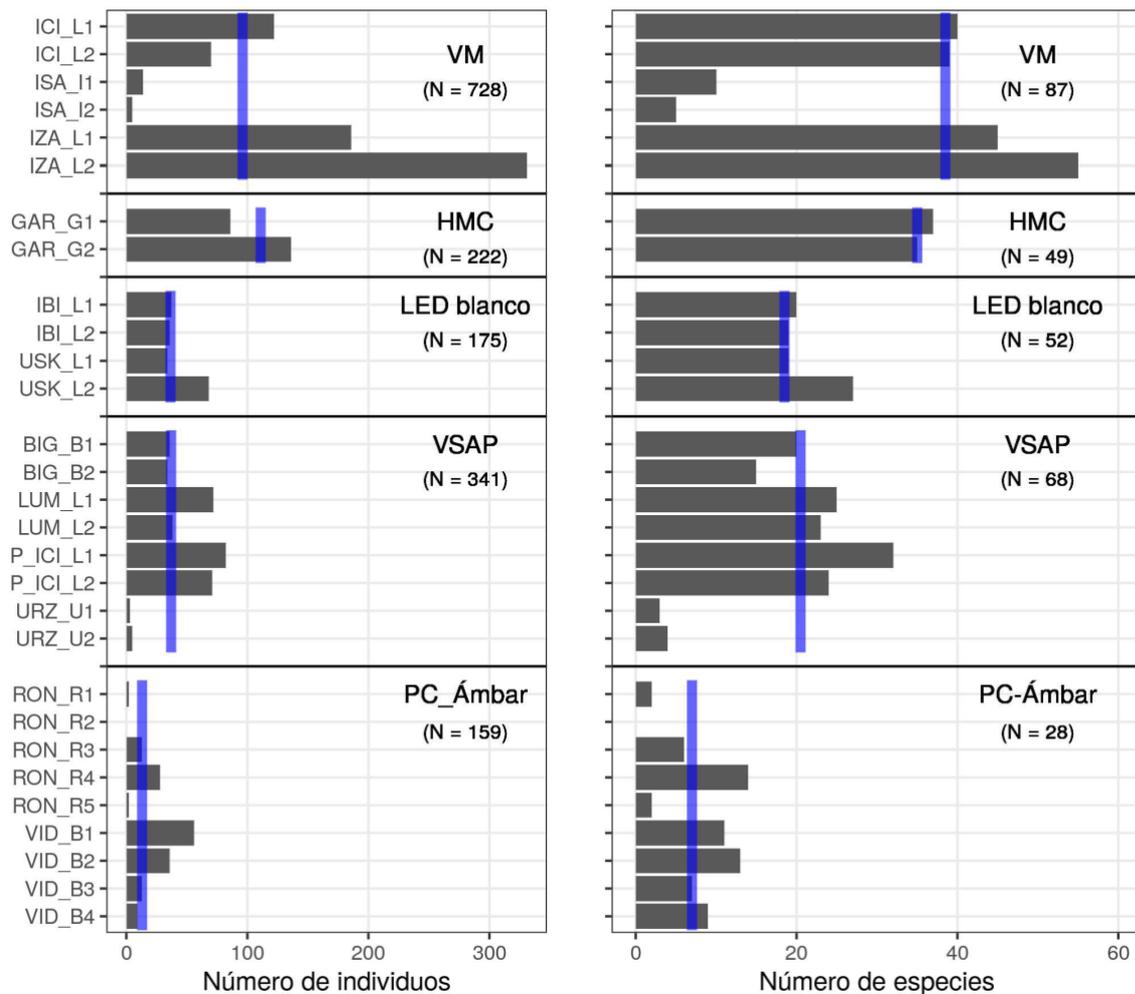


Figura 5. Número de capturas de macrolepidópteros acumuladas en farolas con diferente tipo de lámpara. La banda vertical azul se corresponde con la mediana del número de individuos capturados. A la izquierda nº de individuos y a la derecha nº de especies.

Resulta remarcable la escasa atracción de las farolas de VM situadas en Isaba, como consecuencia del mal estado de mantenimiento de las luminarias (desgaste). En este tipo de lámparas el número de capturas estuvo correlacionado de manera positiva con el nivel de iluminación.

No se encontraron evidencias de funcionamiento atípico en ninguna otra lámpara de las anteriormente mencionadas.

Especies

A nivel de especie, más del 50% de los registros de macrolepidópteros se concentraron en tan sólo 14 de las 135 especies capturadas. El rango de número de capturas total por especie fue de 31-129 individuos, con un promedio de 62 capturas totales por especie y 5 por especie y lámpara. El promedio de capturas totales para el resto de especies fue de 5

individuos, con predominancia de capturas puntuales (1-2 individuos).



Figura 6. Capturas de macrolepidópteros el 15/05/2018 en Garde (Valle de Roncal). Muestra del interior de una trampa instalada bajo farola con lámpara HM. Se observan 2 ejemplares de *G. isabellae*, 3 de *Saturnia piri* y uno de *Smerinthus ocellata*.

El número de especies capturadas mostró un patrón similar al del número de individuos capturados (Figura 5), con un promedio mayor en lámparas de VM y HMC, seguidas de LED blanco, VSAP y LED PC-Ámbar.

El mayor número de capturas de *G. isabellae* se registró en trampas adheridas a lámparas de VM, con una media de 3 individuos por farola. En farolas con lámparas de HMC la media fue de 2 individuos por lámpara, mientras que en farolas con LED y VSAP la media fue inferior a 1 individuo. En farolas con lámparas LED PC-Ámbar no se registraron capturas.

El hecho de que no se capturara ningún ejemplar de *P. proserpina* podría sugerir que esta especie, con presencia constatada en el ámbito de estudio (Armendariz, com. pers.), no se ve afectada, al menos de manera directa, por el ALAN.



Figura 7. Luminaria de alta peligrosidad para las especies voladoras ya que tiene una lámpara de VM y la base abierta. Los insectos, atraídos por la luz, acceden al interior y se queman al entrar en contacto con la lámpara. Iziz (Valle de Salazar).



Figura 8. Ejemplares muertos de *G. isabellae* por quemaduras con lámparas de VM localizados bajo la farola. Iziz (Valle de Salazar).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Se analizaron las diferencias en el número de individuos capturados y especies entre los tipos de lámparas mediante el uso de modelos mixtos lineales generalizados.

Individuos

El modelo estadístico final indicó un efecto significativo del tipo de lámpara sobre la captura de macrolepidópteros. Los resultados de las comparaciones múltiples indicaron que las lámparas de PC-Ámbar y VSAP ejercían de manera significativa una atracción entre 8 y 4 veces menor que las lámparas de VM (Figura 9). Según la predicción del modelo, el número de capturas esperadas en lámparas de PC-Ámbar fue también sustancialmente menor que en las de HMC, aunque en este caso la diferencia fuera marginalmente significativa.

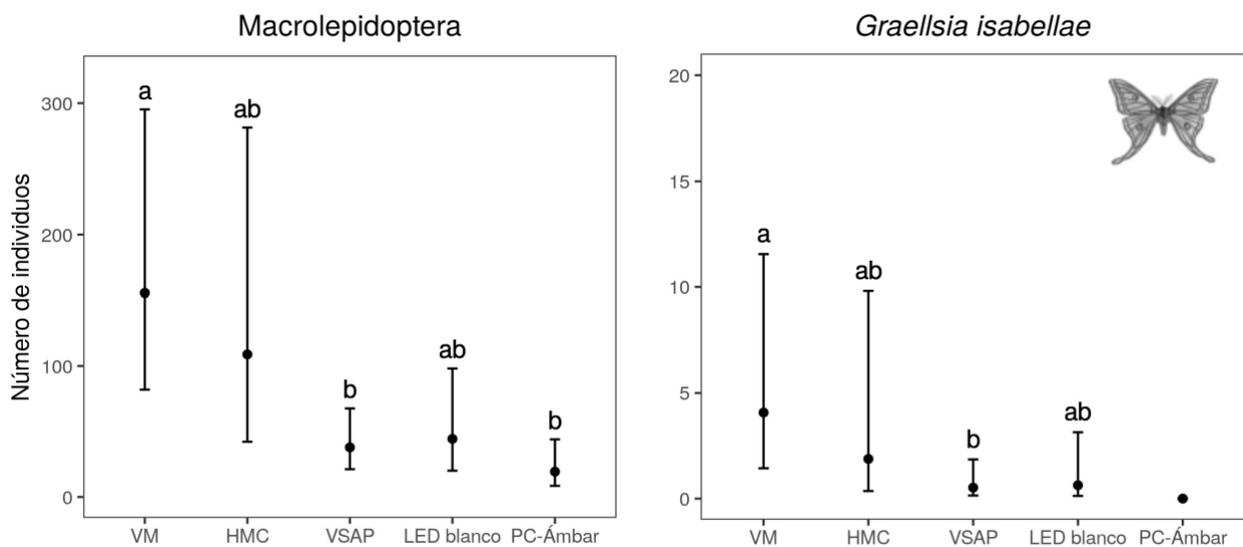


Figura 9. Predicción de los modelos lineales generalizados mixtos ajustados sobre el número de individuos capturados. Las barras de error representan los intervalos de confianza (95%) de la predicción transformados a la escala original. Los pares de tipos de lámparas con efectos significativamente diferentes no comparten letra. En el caso de *Graellsia isabellae*, no se registró ningún ejemplar en lámparas de PC-Ámbar y por tanto no se incluyeron en el modelo.

Especies

El efecto del tipo de lámpara en términos de número de especies fue también significativo. En este caso, tanto las lámparas de PC- Ámbar como las de VSAP ejercieron un efecto de atracción sobre un número de especie significativamente menor que el observado en lámparas de VM. Por el contrario, no se encontraron diferencias significativas con respecto a las lámparas de HMC (Figura 10).

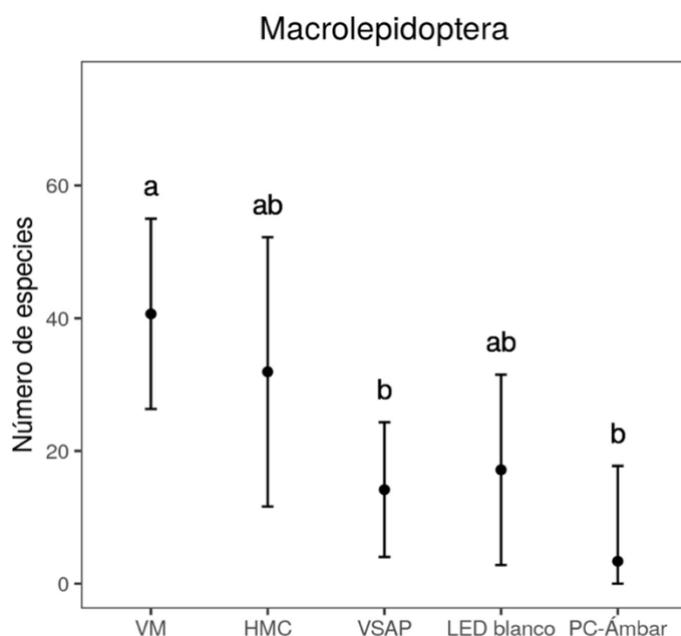


Figura 10. Predicción de los modelos lineales generalizados mixtos ajustados sobre el número de especies capturadas. Las barras de error representan los intervalos de confianza (95%) de la predicción y han sido transformados a la escala original. Los pares de tipos de lámparas con efectos significativamente diferentes no comparten letra.

A nivel de familia se encontró un efecto significativo del tipo de lámpara en las principales familias. En todos los casos, la atracción de las lámparas de PC-Ámbar fue significativamente menor a la ejercida por las lámparas de VM, y salvo en los geométridos, también a la ejercida por las lámparas de HMC.

En el caso de *G. isabellae*, una vez excluidas del modelo las farolas de PC-Ámbar donde no se capturó ningún ejemplar de la especie, sólo se encontraron diferencias marginalmente significativas entre VM y VSAP, siendo en torno a 8 veces mayor el número de capturas esperado en el primer tipo de luz (Figura 9).

Como complemento a los análisis anteriores, se evaluó el grado de afinidad (i.e. atracción/repulsión) de las especies con respecto a los diferentes tipos de lámpara. A partir de este análisis se detectaron 24 especies con una asociación significativa con respecto a las lámparas de VM (N=11), HMC (N=12) y LED blanco (N=1). En la Figura 11 se muestran las especies y el grado de atracción/repulsión hacia los diferentes tipos de luz. Como se puede observar, ni VSAP ni PC-Ámbar ejercieron atracción sobre las especies consideradas, con la excepción de *Macrothylacia rubi*, que en este estudio mostró una mayor preferencia (aunque no estadísticamente significativa) por las lámparas PC-Ámbar.

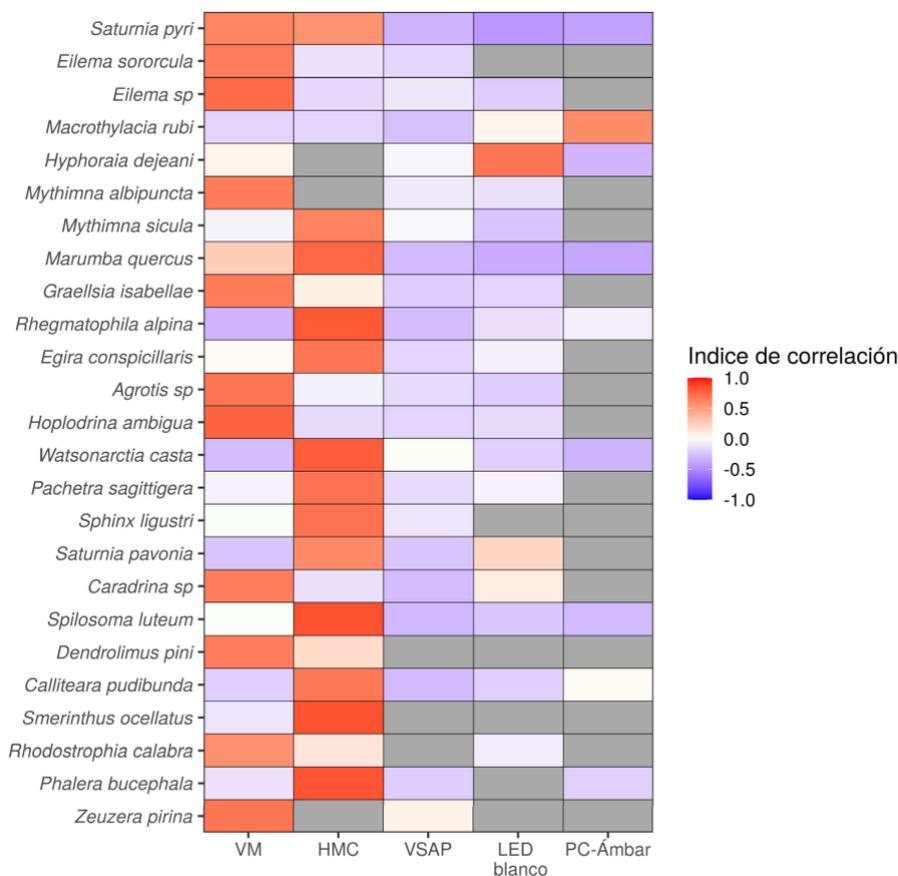


Figura 11. Tendencia de las especies de macrolepidópteros a volar hacia (valores positivos) o evitar (valores negativos) los diferentes tipos de lámparas. Sólo se muestran aquellas especies con asociación significativa presentes en más de tres tipos de lámparas y asociación significativa con, al menos, uno de ellos. En gris las especies que no fueron capturadas en trampas de un determinado tipo de lámpara.

Escarabeidos

Durante los muestreos se atraparon más de 300 ejemplares de escarabeidos (*Coleoptera*). Aunque no estaba inicialmente contemplado, se ha analizado la atracción que las diferentes lámparas ejercen sobre este grupo, por ser abundante en las capturas.

Dejando a un lado los numerosos ejemplares no identificados a nivel de especie (~40% del total), la mayoría de las capturas fueron de dos especies de escarabeidos: *Amphimallon sp.* y *Melolontha melolontha*. Estos dos taxones se capturaron en casi todas las localidades muestreadas y en todos los tipos de lámparas.

El efecto del tipo de lámpara sobre las capturas de escarabeidos fue significativo. El número de individuos capturados en lámparas de HMC y VM fue muy superior al registrado en lámparas de VSAP y PC-Ámbar, pero no con respecto a las registradas en las lámparas de LED blanco (Figura 12). La predicción del modelo sugiere una atracción entre 56 y 30 veces menor en PC-Ámbar en comparación con las lámparas de HMC y VM, respectivamente. En este caso, el efecto de las PC-Ámbar fue también significativamente menor que el observado en las farolas con LED blanco.

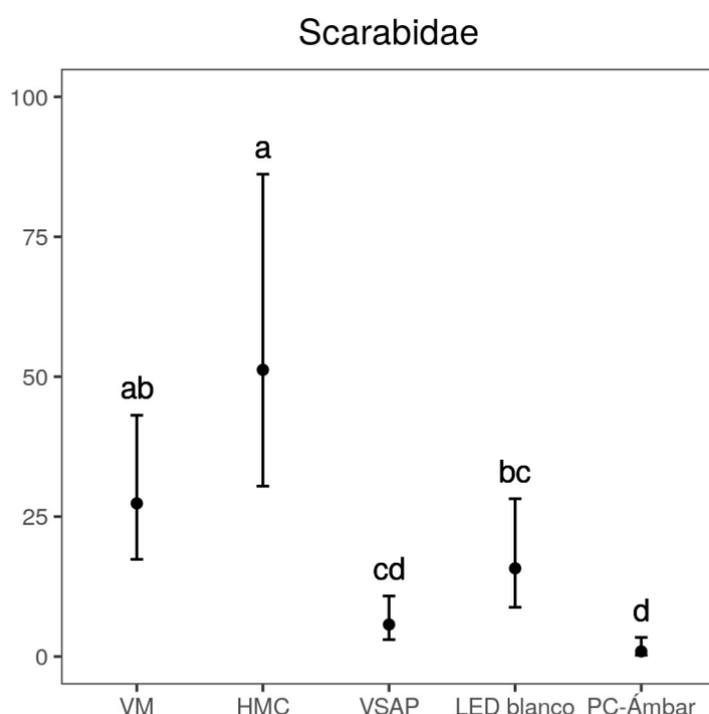


Figura 12. Predicción de los modelos lineales generalizados mixtos ajustados sobre el número de especies de escarabeidos capturados. Las barras de error representan los intervalos de confianza (95%) de la predicción y han sido transformados a la escala original. Los pares de tipos de lámparas con efectos significativamente diferentes no comparten letra.

CONCLUSIONES

Los insectos representan una importante fracción de la biodiversidad y resultan vitales para el funcionamiento y buena salud de los ecosistemas. Son eslabones básicos en procesos ecológicos como la polinización, el ciclo de nutrientes o las cadenas tróficas. Más del 50 % de los insectos son nocturnos y por tanto dependen de condiciones de oscuridad y de luz natural (luna y estrellas) para la realización de sus funciones vitales. En este sentido, la luz artificial (ALAN) afecta negativamente a sus ciclos de vida y a su supervivencia. Los macrolepidópteros, principales insectos polinizadores nocturnos, son especialmente atraídos por las fuentes de luz artificial. Las poblaciones de estas especies están experimentando una disminución significativa en varios países europeos y estudios recientes encuentran en la creciente contaminación lumínica una de las causas de este declive (Grubisic, et al., 2018).

En Europa algunas especies de macrolepidópteros escasas o en situación desfavorable como *G. isabellae* se encuentran incluidas en listas de referencia, como la Directiva 92/43/CEE, también conocida como Directiva Hábitat. Para estas especies consideradas de interés comunitario es preceptivo la designación de lugares para su protección, así como el establecimiento de medidas de conservación específicas.

En el presente estudio se ha analizado el nivel de atracción que ejercen los principales tipos de lámparas usados en el alumbrado público de localidades del pirineo occidental (Navarra) sobre los macrolepidópteros nocturnos. El modelo estadístico resultante ha revelado que **los diferentes tipos de lámpara tienen un efecto significativo de atracción a los macrolepidópteros nocturnos**. Para las especies catalogadas, **el efecto de atracción también fue significativo para *G. isabellae***, poniendo de manifiesto la importancia del alumbrado público en la conservación de la especie.

Desde todas las perspectivas estudiadas, se ha demostrado que **las lámparas de vapor de mercurio (VM) son las que mayor impacto presentan sobre los macrolepidópteros nocturnos**. Este tipo de lámpara, con varios picos de emisión en los rangos del UV, el azul y el verde, resulta más atractiva para el conjunto de los individuos y para la mayoría de las familias de polillas estudiadas. Además, las lámparas de VM ejercen una atracción significativa sobre la única especie catalogada capturada en este estudio: *G. isabellae*. **Las lámparas de halogenuros metálicos cerámicos (HMC) tienen un impacto similar al de las lámparas de VM**.

Ha quedado demostrado que las lámparas de VSAP afectan significativamente a menos individuos de menos especies de macrolepidópteros que las de VM y HMC. No obstante, también ha quedado claro, que la luz de las lámparas VSAP afecta a *G. isabellae*.

En la actualidad existe una tendencia a reemplazar las lámparas convencionales por tecnología LED blanca, más económica y eficiente. No obstante, los resultados del presente estudio sugieren que **la instalación de LEDs blancos podría NO reducir de manera significativa el impacto potencial sobre los lepidópteros y en particular sobre *G. isabellae***. Los LED blancos presentan una gran variabilidad en su atracción (amplios intervalos de confianza), de manera que, en determinados contextos, podrían presentar un impacto desproporcionado sobre los lepidópteros nocturnos.

Respecto a las lámparas de LED PC-Ámbar, **este estudio constituye la primera evaluación empírica de su afección sobre los insectos nocturnos** de la que se tiene constancia. Estas lámparas son una fuente de luz con apenas emisiones de onda corta. Por esa razón, se les presupone un menor impacto sobre la fauna nocturna. Los resultados obtenidos en este estudio apoyan la predicción de manera inequívoca. Además, a diferencia de las lámparas de LED Blanco y VSAP, **en las PC-Ámbar no se ha documentado ninguna captura de *G. isabellae***. Cabe remarcar este resultado, más aún teniendo en cuenta que las trampas en farolas con PC- Ámbar se situaron en un área con una densidad de la especie particularmente alta.

Los resultados de este estudio podrían ser generalizables en buena medida al conjunto de los insectos voladores nocturnos, como se ha podido comprobar en el caso de los escarabeidos. Estudios recientes (Boyes et al., 2020) han demostrado que existe una alta correlación entre las capturas de polillas y del resto de insectos nocturnos (al menos de aquellos con fototaxis).

RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DEL ALUMBRADO

En el estudio en que se basa este documento se demuestra la diferente atracción que los distintos tipos de lámparas tienen sobre los lepidópteros nocturnos en la zona del pirineo occidental, Navarra. **Este estudio demuestra la necesidad de considerar el ALAN como una amenaza general al medio ambiente.** Por ello, las actuaciones en materia de alumbrado deben tener en cuenta los resultados obtenidos.

Por otro lado, una simple inspección ocular nocturna por la zona denota que no se tiene una conciencia clara del efecto de la contaminación lumínica sobre los ecosistemas. Se ven instalaciones innecesarias, actuaciones de renovación de alumbrado inadecuadas, luminarias que contrastan fuertemente con instalaciones bien ejecutadas, alumbrados antiguos e ineficientes, etc. Todo esto refuerza la necesidad de una **campaña de sensibilización general** que ponga en valor la riqueza del medioambiente nocturno y la importancia de preservar la oscuridad natural de la noche. Esta información debe llegar a la **población** de estos valles, pero también a las **empresas** con sede en ellos, a las **administraciones locales** (con competencia en el alumbrado de las poblaciones) y al **Gobierno de Navarra**, responsable de las carreteras y de las campañas de ayuda a la renovación del alumbrado público.

Desde un punto de vista aplicado, los resultados de este estudio urgen a **reemplazar las luminarias con lámparas tradicionales todavía hoy existentes en el pirineo occidental por nuevas luminarias con lámparas de LED PC-Ámbar.** La mayor prioridad debe ser sustituir las farolas con lámparas de VM seguidas por las de HMC.

Otros aspectos a considerar a la hora de priorizar la renovación del alumbrado, no abordados en este estudio, pero de los que existe abundante evidencia científica, son la proximidad de las farolas a hábitats naturales, la disposición de las mismas con respecto a otras farolas (amplificación del efecto por acumulación) y/o creación de barreras lineales. Una vez identificados los tipos de lámparas, estos aspectos deberían tomarse también en cuenta a la hora de definir las actuaciones dentro de cada núcleo rural cuando los recursos sólo permitan realizar una sustitución parcial o puntual del alumbrado.



Figura 13. Alumbrado con LED PC-Ambar en Vidangoz/Bidangotze (Valle de Roncal). La luz de estas lámparas es la de menor impacto para los insectos nocturnos.

Los resultados del presente estudio sugieren que **las lámparas de LED PC-Ámbar, de eficiencia similar a los LED blancos, constituyen actualmente la mejor alternativa.** Además de contribuir a la protección del paisaje nocturno y la calidad del cielo estrellado, **la reconversión del alumbrado de núcleos rurales a LED PC-Ámbar se vislumbra como la mejor opción para minimizar el impacto del ALAN sobre, al menos, los insectos voladores nocturnos del pirineo.**

Los diferentes niveles de afección de las distintas lámparas a los macrolepidópteros en general, y a *G. isabellae* en particular, indican la necesidad de caracterizar el alumbrado de toda la zona. Hay que identificar las fuentes de iluminación más desfavorables y trazar una **hoja de ruta para la renovación del alumbrado urbano**, estableciendo prioridades para sustituir las lámparas de mayor atracción por otras de baja afección a *G. isabellae*.



Figura 14. Luminarias tipo villa con lámparas de VM en Izal (Valle de Salazar). Estas lámparas han demostrado ser las que más afectan a los lepidópteros nocturnos y su sustitución por LED PC-Ámbar debería ser prioritaria.



Figura 15. Localidad de Ibilcieta/Ibiltzieta desde la carretera NA-178 que recorre el Valle de Salazar. Las luminarias de LED blanco cálido pueden tener un impacto importante en la atracción de insectos voladores nocturnos. El presente estudio demuestra que la mejor elección en estas localidades es el LED PC-Ámbar.



Figura 16. Luminarias exteriores de la fábrica de quesos ENAQUESA en Roncal (Valle de Roncal). Producen deslumbramiento a los conductores de la carretera del valle.



Figura 17. Las luminarias exteriores de ENAQUESA proyectan su luz en las inmediaciones del río Eska y de los pinares cercanos, hábitat de *G. isabellae*. Fotografías tomadas el sábado 20 de febrero de 2021 a las 22:00, en un momento sin actividad exterior en la fábrica.



Figura 18. Iluminación de la rotonda donde confluyen las carreteras NA-137 y NA-214 cerca de Burgui (Valle de Roncal). En un lugar con tanta biodiversidad y un tráfico nocturno tan reducido, cabe preguntarse por la conveniencia y necesidad de instalaciones como esta. Además, se han elegido lámparas de LED Blanco frío, que podrían ser tan perjudiciales para los insectos como las de VM. Este tipo de instalaciones, si son realmente necesarias, deberían dotarse de sistemas de detección de vehículos que activen las lámparas al acercarse y las apaguen al salir.



Figura 19. Entrada a la localidad de Navascués por el puerto de las Coronas. En lugares donde la conservación de hábitats y especies tiene una importancia especial, hay que plantear la renovación del alumbrado con criterios diferentes a los de las grandes ciudades. Los LED Blancos que están sustituyendo a las tradicionales lámparas de VSAP pueden tener un efecto pernicioso en el medio ambiente, aumentando el estrés al que someten a muchas especies.