

Evaluación de la sensibilidad y respuesta de las distintas especies de murciélagos ante las fuentes de iluminación urbana en el Pirineo navarro



Juan Tomás Alcalde
Xavier Puig Montserrat
Iñaki Martínez



Evaluación de la sensibilidad y respuesta de las distintas especies de murciélagos ante las fuentes de iluminación urbana en el Pirineo navarro

Informe científico-técnico / septiembre de 2019

AUTORES:

Juan Tomás Alcalde 1,

Xavier Puig 1,2,

Iñaki Martínez 1

1 SECEMU, Alcalá de Henares, Spain

2 Granollers Museum of Natural Sciences, Celrà, Spain

COORDINACIÓN TÉCNICA:

Carlos Armendariz (Gestión Ambiental de Navarra (GAN-NIK)).

El presente informe ha sido elaborado en el marco de la acción ACC 3 del proyecto Interreg POCTEFA – Pirineos La Nuit: “EFA 233/16 PLN – Análisis y seguimiento del estado de oscuridad natural del pirineo y su afección en la biodiversidad”

Trabajo cofinanciado por la Comunidad de Trabajo de los Pirineos bajo el Programa de Cooperación Territorial INTERREG V-A España-Francia-Andorra POCTEFA 2014-2020

Socio:



El reciente desarrollo tecnológico de la sociedad humana ha conllevado la iluminación artificial de muchos lugares que hasta entonces habían evolucionado dentro del ciclo diario natural de luz y oscuridad. Este cambio del medio conlleva alteraciones del comportamiento de muchos seres vivos, principalmente nocturnos, que han evolucionado durante millones de años en unas condiciones regulares de ausencia de luz. Entre estos organismos se encuentran los quirópteros, que realizan la mayor parte de su actividad en condiciones de oscuridad, para lo cual han desarrollado una anatomía y fisiología específicas. La actual iluminación artificial de muchos pueblos y ciudades interfiere en los procesos naturales de los quirópteros y puede afectar negativamente a algunas poblaciones. El presente estudio tiene como objetivo conocer cómo interaccionan diferentes tipos de iluminación artificial sobre la actividad de las especies de murciélagos en pueblos del Pirineo navarro.

Se han realizado dos tipos de experimentos:

- Mediante grabadoras autónomas de ultrasonidos (SM2BAT, Wildlife Acoustics) se ha registrado la actividad de murciélagos en cuatro pueblos del Pirineo navarro (Bigüézal, Burgi, Garde e Ibiz). Se han seleccionado zonas iluminadas por cuatro tipos de farolas: Vapor de Sodio a Alta Presión (VSAP), Halogenuro Metálico de Cerámica (HMC), Vapor de Mercurio (VM) y LED blanco. Se han colocado cinco grabadoras en otras tantas zonas iluminadas (Ibiz ha tenido dos muestreos en dos tipos de farolas diferentes) y otras cuatro en zonas oscuras, situadas en un hábitat similar, y entre 320 y 560 m de distancia de las primeras. El muestreo ha sido simultáneo en cada zona iluminada y su correspondiente oscura (control). Se ha registrado la actividad en cada zona durante 6-7 noches consecutivas.
- Se ha realizado un recorrido de 90,67 km en vehículo, a baja velocidad (<30 km/h) registrando la actividad de los murciélagos en un detector-grabador de ultrasonidos (EM2Pro, Wildlife Acoustics + iPad, Apple). El recorrido se ha realizado en tres ocasiones, anotando las especies escuchadas y su situación. En el trayecto se han identificado ocho tipos de hábitats, cuatro iluminados y otros cuatro sin iluminar.

Las grabaciones han sido analizadas posteriormente mediante programas específicos (Kaleidoscope y Batsound) y se han medido diversos parámetros de las emisiones para determinar las especies presentes: frecuencia de mayor intensidad de los pulsos, frecuencia inicial y final, duración de los mismos y espacio entre ellos.

En las grabadoras autónomas se han registrado 48.714 vuelos de murciélagos y se han identificado 14 taxones de murciélagos. La actividad registrada en las zonas iluminadas es muy superior (128,49 vuelos/hora de grabación) a la de las zonas oscuras (6,38 v/h). Diferencias similares se han observado en los cuatro pueblos y en los cuatro tipos de iluminación.

Se han realizado modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) para determinar la influencia de la iluminación artificial en cada especie. Seis taxones muestran una actividad significativamente mayor en las zonas iluminadas: *Eptesicus serotinus*, *Pipistrellus kuhlii/nathusii*, *Nyctalus leisleri*, *Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus pygmaeus/Miniopterus schreibersii* y *Tadarida teniotis*. Por el contrario, otros seis taxones muestran una actividad significativamente mayor en las zonas sin iluminación: *Barbastella barbastellus*, *Hypsugo savii*, *Myotis sp.*, *Plecotus sp.*, *Rhinolophus ferrumequinum* y *Rhinolophus hipposideros*.

Otro GLMM se ha utilizado para conocer el efecto de cada tipo de iluminación sobre las especies de murciélagos que son atraídas hacia las zonas iluminadas. El VM atrae de forma significativa a cinco taxones: *E. serotinus*, *P. kuhlii/nathusii*, *N. leisleri*, *P. pipistrellus* y *P. pygmaeus/M. schreibersii*. El VSAP atrae a *P. kuhlii/nathusii*, *N. leisleri*, *P. pipistrellus*, *P. pygmaeus/M. schreibersii* y *T. teniotis*. El HMC atrae a *P. kuhlii/nathusii*, *P. pipistrellus*, *P. pygmaeus/M. schreibersii* y *T. teniotis*. El LED blanco atrae a *P. kuhlii/nathusii*, *N. leisleri*, *P. pipistrellus*, *P. pygmaeus/M. schreibersii* y *T. teniotis*.

En definitiva, todos los tipos de lámparas estudiados interfieren en el comportamiento de determinadas especies de murciélagos, aunque no de igual forma. Algunas especies se ven atraídas y aprovechan la inusual y artificial abundancia de insectos concentrados alrededor de las farolas, mientras que otras huyen de las zonas iluminadas. Estas últimas pueden verse perjudicadas por la iluminación, ya que esta atrae a una parte de la entomofauna del lugar y la retira de sus hábitats naturales; además, la luz reduce el área de campeo disponible para estas especies y puede causar un efecto barrera que impida el tránsito de algunos murciélagos.

A la vista de los resultados obtenidos, y teniendo en cuenta la bibliografía existente, se recomienda sustituir la iluminación actual por LEDs de color ámbar, que parecen no interferir en el comportamiento de los murciélagos.

1. Justificación del trabajo

Los humanos obviamente, requerimos luz por la noche; sin embargo, la iluminación artificial puede interferir con numerosos procesos naturales e incluso poner en peligro algunas especies particularmente sensibles a esta alteración.

Los quirópteros son animales de hábitos nocturnos, que han restringido la mayor parte de su actividad a los períodos sin luz. Contrariamente a lo que indica su nombre (murciélago = ratón ciego), estos animales no son ciegos, y ello les permite distinguir el día de la noche, seleccionando esta última para salir a cazar y desarrollar otras actividades propias de su ciclo circadiano.

Se sabe que algunas especies de murciélagos huyen de entornos iluminados artificialmente, mientras que otras parecen sentirse atraídas por ellos, y aprovechan la inusual abundancia de insectos que vuelan en torno a farolas y focos, para cazar a su alrededor. Estos cambios por tanto pueden beneficiar a algunas especies de murciélagos, al tiempo que perjudicar a otras especies que encontrarán un menor número de presas en las zonas oscuras naturales. A ello hay que añadir el efecto sobre las presas, que, atraídas por la luz, son víctimas fáciles de los murciélagos que toleran la luz artificial.

Es preciso tener en cuenta además la elevada presencia de lugares iluminados artificialmente en áreas humanizadas e incluso en áreas aparentemente bien conservadas, como es el Pirineo, donde hay numerosos pueblos iluminados durante todas las noches del año. También es necesario considerar los tipos de iluminación utilizados: existen diferentes modelos de farolas que emiten en distintos espectros de luz, en diferentes direcciones e intensidades. Todos estos factores influyen en la actividad de numerosas especies del entorno.

En Navarra no existen trabajos previos que hayan analizado la influencia de la iluminación artificial sobre las poblaciones de quirópteros, aunque se sabe de la abundancia de algunos ejemplares en determinadas farolas y lugares.

El presente trabajo tiene como objeto analizar el efecto que causan 5 lugares iluminados, situados en el Pirineo navarro, sobre las especies de murciélagos que habitan en la zona.

2. Metodología

El trabajo se ha realizado entre 2018 y 2019. Se han realizado dos tipos de estudios: registro de ultrasonidos con grabadoras autónomas en zonas con y sin luz artificial, y realización de transectos nocturnos en vehículo con detector-grabador de ultrasonidos.

2.1. Estaciones fijas de grabación en zonas con y sin luz artificial

Se han colocado 5 grabadoras de ultrasonidos de alta velocidad (SM2BAT, Wildlife Acoustics) junto a cinco farolas de 4 pueblos del Pirineo navarro y otras 4 grabadoras en zonas cercanas de esos mismos pueblos, situadas a 300 - 600 m de distancia, en terrenos similares pero no iluminados (controles). Ver tabla 1. Se han programado las grabadoras para comenzar a registrar ultrasonidos en el ocaso y continuar hasta el amanecer. Cada una ha permanecido en la zona registrando ultrasonidos durante 6-7 noches consecutivas. En total, se ha grabado la actividad de murciélagos en 9 puntos, 5 con luz artificial y 4 sin ella; se ha muestreado durante 59 noches completas: 33 (364,5 h) con luz artificial y 26 (294,5 h) sin ella.

De esta forma se quiere comparar la actividad de los murciélagos en un mismo entorno, con y sin luz artificial. Los muestreos han sido simultáneos en el tiempo, en cada zona de control, sin iluminación, y en su correspondiente zona iluminada, para evitar la posible influencia de la temporalidad o la climatología.



Figuras 1 y 2. Izquierda: grabadora de ultrasonidos colocada en una farola de Garde, a 3,5 m de altura. Derecha: plaza de Icíz. La grabadora se colocó en el balcón de la casa de piedra; se observa la farola en la casa blanca del fondo.

Tabla 1. Localización de las grabadoras autónomas donde se ha registrado la actividad de los murciélagos (UTM; Datum: ETRS89). (VSAP: vapor de sodio de alta presión; HMC: halogenuro metálico de cerámica; VM: vapor de mercurio. Distancia: distancia en m entre la grabadora en zona iluminada y la situada en una zona oscura; N: número de noches muestreadas en cada zona; H: horas de grabación).

Pueblo	Farola	Zona iluminada		Zona oscura		Distancia	Fechas	N	H	Año
		UTM-X	UTM-Y	UTM-X	UTM-Y					
Bigüézal	VSAP	651522	4727603	651953	4727334	517	13 al 20 sep	7	80,5	2018
Burgi	LED blanco	663641	4732149	663599	4732459	315	28 sep al 4 oct	6	72,6	2018
Garde	HMC	670071	4739309	670358	4739008	422	22 al 28 sep	6	71,4	2018
Iciz	VM	656313	4738621	656510	4738886	334	3 al 10 ago	7	70	2019
	VSAP	656013	4738638			559	3 al 10 ago	7	70	2019

Los ultrasonidos grabados han sido analizados posteriormente con programas informáticos específicos (Batsound, Kaleidoscope) para discriminar los sonidos de insectos y otros factores, de los producidos por los murciélagos, e identificar las especies de quirópteros que los emiten.

Se han realizado espectrogramas (frecuencia/tiempo) y gráficos de potencia (amplitud/frecuencia) para conocer los principales parámetros de los ultrasonidos: frecuencia máxima y mínima de cada pulso, frecuencia de máxima intensidad, duración de los pulsos e intervalo de tiempo entre pulsos, de acuerdo con diferentes estudios de identificación de los ultrasonidos de murciélagos en Europa (Ahlén, 1990; Russo y Jones, 2002; Orbist *et al.*, 2004; Haquart y Disca, 2007; Barataud, 2012-2014). Este análisis permite identificar la mayoría de las especies de murciélagos que vuelan por la zona. No obstante, algunas especies emiten ultrasonidos muy similares, y en ocasiones resulta prácticamente imposible identificarlas por este método; en estos casos, se ha determinado al menos el género o la pareja de especies a la que pertenecen y por ello se han clasificado como *Myotis sp.*, *Plecotus sp.*, *P. kuhlii*/*P. nathusii*, *P. pygmaeus*/*M. schreibersii*. Además, aunque se ha identificado al nóctulo mediano (*N. noctula*) entre las especies presentes en la zona de estudio, dado que algunas veces sus sonidos pueden solaparse con otras especies de su género, este taxón no ha sido tenido en cuenta para la discusión final.

Todos los ultrasonidos registrados se conservan en un disco duro por si fuera necesario revisarlos o si se requiriesen, y se pueden suministrar en formato digital (wav).

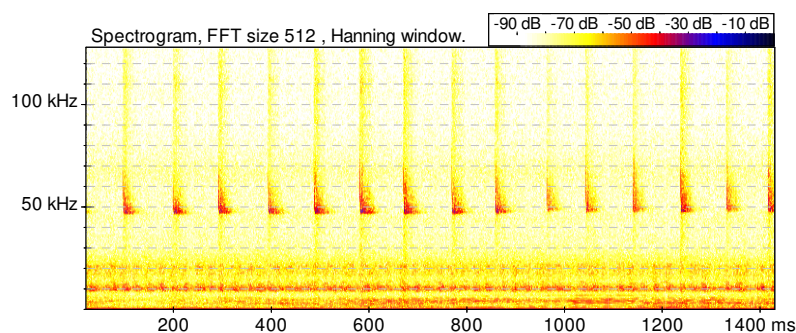


Figura 3. Espectrograma (frecuencia/tiempo) de los pulsos de un murciélago enano, *Pipistrellus pipistrellus*, en Iciz.

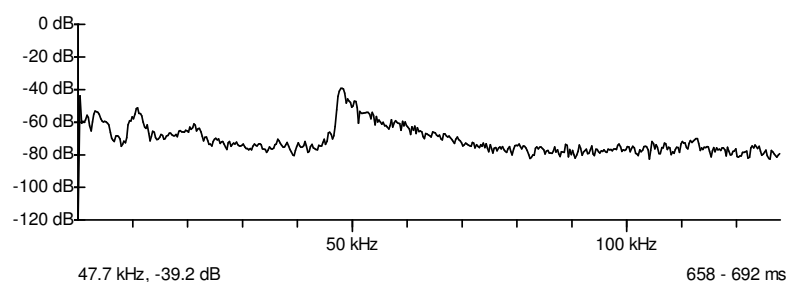


Figura 4. Gráfico de potencia (amplitud/frecuencia) de un pulso de un murciélago enano, *Pipistrellus pipistrellus*. Se aprecia una mayor intensidad en torno a 47,7 kHz.

2.2. Transectos nocturnos con detector-grabador de ultrasonidos

Se ha utilizado un micrófono Echo Meter Touch 2Pro (Wildlife Acoustics) conectado por cable a un iPad (Apple). El micrófono se ha colocado sobre el techo de un vehículo, mientras que el iPad se ha instalado en el interior del mismo; de esta forma el micrófono ha recibido los ultrasonidos de los murciélagos que volaban en el entorno del vehículo, y el iPad los ha registrado, mostrando además el espectrograma (frecuencia/tiempo) de los sonidos en tiempo real.

Con esta instalación se han realizado tres recorridos nocturnos, circulando por carreteras a velocidad inferior a 30 km/h. Los tramos realizados son:

- Carretera Lumbier-Bigüezal (18 km)
- Carretera Bigüezal-Asolaze, Isaba (47 km)
- Carretera Navascués-Ochagavía (25 km)

Los tres recorridos han sido realizados en tres meses: julio, agosto y septiembre de 2018. En estos recorridos se han considerado 8 tipos de hábitats:

- Hábitats iluminados (4):
 - Rural de baja densidad (edificios dispersos con <15 % del terreno cubierto por edificios).
 - Urbano de baja densidad (edificios dispersos, polígonos industriales, etc., con <15 % de superficie cubierta por edificios).
 - Rural de mayor densidad (calles de pueblos con >15 % de superficie cubierta por edificios).
 - Urbano de mayor densidad (>15% superficie cubierta por edificios).
- Hábitats oscuros (4):
 - Cultivos/praderas.
 - Matorral/pastizal.
 - Bosques (coníferas/frondosas).
 - Bosques riparios (ríos).

Con el fin de tener una idea global de los datos aportados por estos transectos, se ha analizado la actividad de los murciélagos durante todo el recorrido completo de los tres tramos (90,670 km). Para ello se ha medido, sobre fotografía aérea (SITNA, Gobierno de Navarra) y sobre el terreno, la longitud correspondiente a cada tipo de hábitat (tabla 2).

Tabla 2. Longitud total de los tramos realizados en cada hábitat considerado, durante los tres recorridos conjuntamente.

Luz/oscuridad	Hábitat	Recorrido (m)
	Cultivo/Pradera	24.490
Oscuridad (82.570 m)	Matorral/Pastizal	23.880
	Bosque	19.495
	Bosque ripario	14.705
	Rural alta densidad	3.590
Luz (8.100 m)	Rural baja densidad	3.200
	Urbano alta densidad	870
	Urbano baja densidad	440
Total		90.670

3. Resultados

3.1. Estaciones fijas de grabación

Se ha grabado un total de 48.714 vuelos de murciélagos la mayor parte en el entorno de las farolas, donde la actividad es en promedio muy superior (128,49 vuelos/hora) a la registrada en las zonas oscuras (6,38 v/h). Ver tabla 3.

Tabla 3. Actividad de los murciélagos en los puntos de muestreo, con y sin luz artificial.

Zonas	Con luz artificial			Sin luz artificial		
	N vuelos	H muestreo	N vuelos/h	N vuelos	H muestreo	N vuelos/h
Bigüezal	8.189	80,5	101,73	152	80,5	1,89
Burgi	854	72,6	11,76	290	72,6	3,99
Garde	6.276	71,4	87,90	524	71,4	7,34
Iciz (Plaza)	19.163	70	273,76	913	70	13,04
Iciz (Polígono)	12.353	70	176,47			
Total	46.835	364,5	128,49	1.879	294,5	6,38

Se han identificado 12 especies de murciélagos, además de ejemplares de otros dos géneros en los que no ha sido posible la determinación específica (*Myotis* y *Plecotus*).

Tabla 4. Actividad general de los murciélagos en las zonas con y sin iluminación artificial (control). Se indica también la variación en porcentaje, respecto al control

TOTAL	Con luz artificial		Sin luz artificial		Variación (%)
	N vuelos	Vuelos/h	N vuelos	Vuelos/h	
<i>B. barbastellus</i>	11	0,03	94	0,32	-91
<i>E. serotinus</i>	85	0,23	15	0,05	+358
<i>H. savii</i>	134	0,37	155	0,53	-30
<i>P. pygmaeus/M. schreibersii</i>	5687	15,60	345	1,17	+1232
<i>Myotis sp.</i>	9	0,02	45	0,15	-84
<i>N. lasiopterus</i>	11	0,03	2	0,01	+344
<i>N. leisleri</i>	1309	3,59	79	0,27	+1239
<i>N. noctula</i>	13	0,04	2	0,01	+425
<i>P. kuhlii/nathusii</i>	5380	14,76	80	0,27	+5334
<i>P. pipistrellus</i>	34046	93,40	875	2,97	+3044
<i>Plecotus sp.</i>	20	0,05	124	0,42	-87
<i>R. ferrumequinum</i>	3	0,01	18	0,06	-87
<i>R. hipposideros</i>	1	0,00	11	0,04	-93
<i>T. teniotis</i>	100	0,27	19	0,06	+325
<i>Indeterminada</i>	26	0,07	15	0,05	+40
Total	46835	128,49	1879	6,38	+1914

En el Anexo I se indican los resultados obtenidos para cada localidad y fecha de muestreo. Considerando todos los vuelos en su conjunto, en las cuatro localidades se observa una mayor actividad de murciélagos en el entorno de las farolas (figuras 5-8).

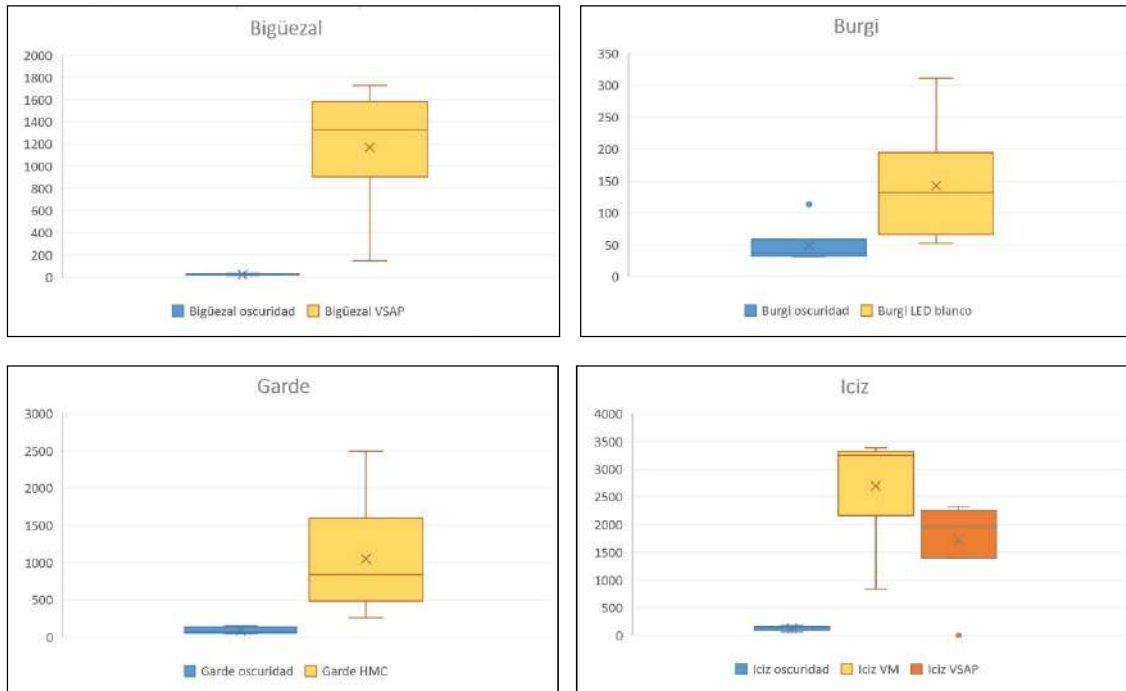


Figura 5. Gráficos de cajas (aspa: media; línea del interior: mediana; cajas con cuartiles 1 y 3) mostrando la distribución del número vuelos diarios en cada punto de muestreo.

Para determinar si los varios tipos de iluminación considerados tienen efecto sobre las especies o grupos acústicos, se han llevado a cabo dos análisis distintos mediante modelos lineales generalizados mixtos (GLMM en sus siglas en inglés). Los modelos lineales generalizados (GLM) permiten explorar las relaciones lineales entre variables que no presentan una distribución *Gaussiana* normal, como es el caso de los recuentos o censos de fauna, que generalmente y también en nuestro caso particular se hallan sesgados hacia el cero (lo que se conoce como distribución de *Poisson*). Los modelos mixtos, además, permiten introducir una tipología de variables llamada variables aleatorias (ver Zuur *et al.* 2009). Por lo general, en ecología, se consideran variables aleatorias aquellas que aportan variabilidad a las muestras debido a factores complejos que sin duda condicionan los resultados (en nuestro caso la localidad) pero cuyo impacto queremos separar del de las variables que se pretende estudiar (el tipo de iluminación).

En primer lugar, usando el número de contactos de cada especie/grupo acústico como variable respuesta, se ha contrastado el impacto de la presencia/ausencia de iluminación. En la figura 6 se muestran los efectos hallados. El modelo basal es el modelo con ausencia de iluminación, de modo que los efectos positivos (por encima de 1) muestran aquellas especies con mayor actividad en condiciones de oscuridad, y los negativos (por debajo de 1) aquellas especies cuya actividad se ve favorecida por la presencia de iluminación artificial. Se ha introducido como variable aleatoria la localidad de los muestreos.

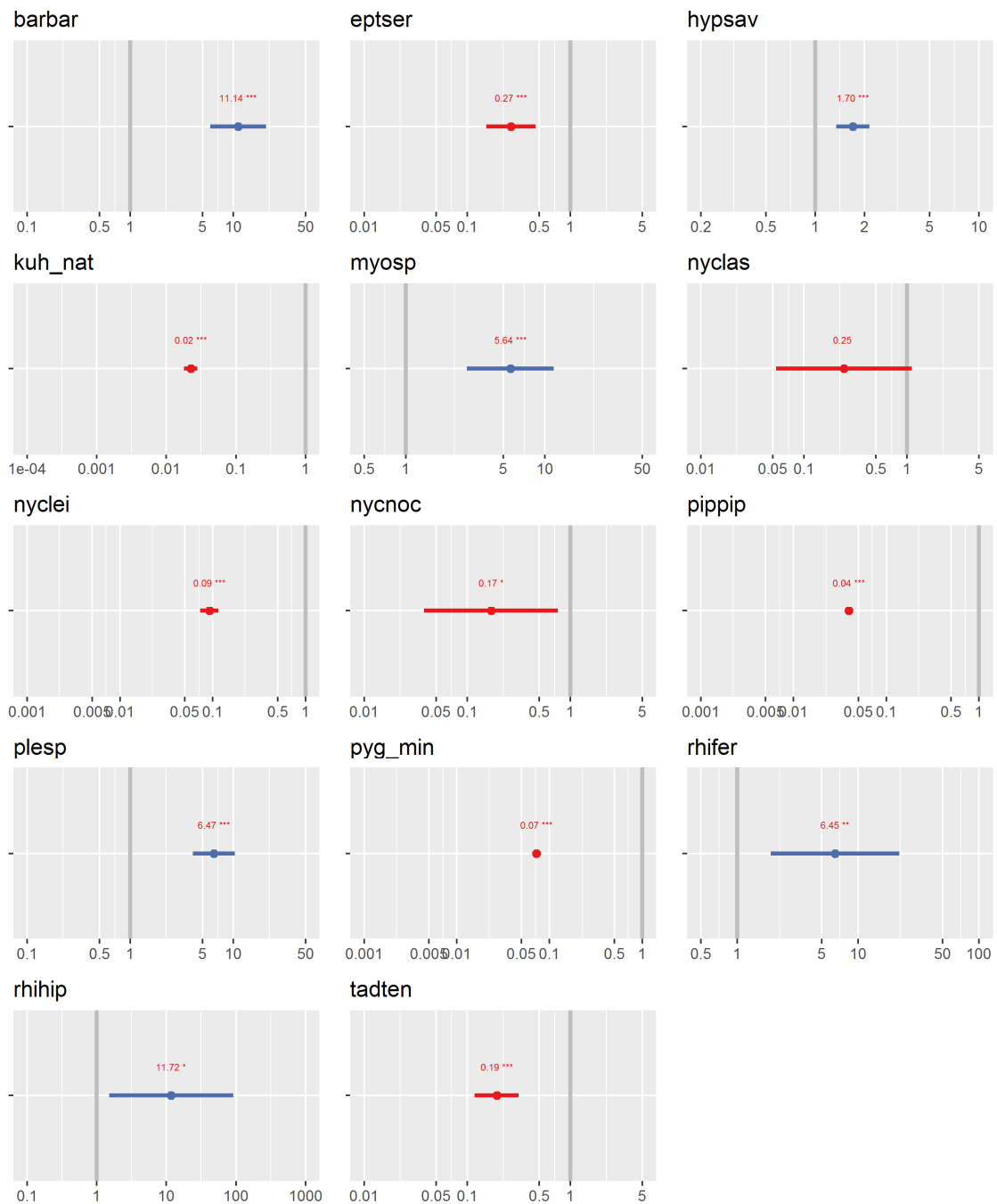


Figura 6. Efecto de iluminación artificial sobre la actividad de cada especie o grupo de especies (*barbar*: *B. barbastellus*; *eptser*: *E. serotinus*; *hypsav*: *H. savii*; *kuh_nat*: *P. kuhlii*/*P. nathusii*; *myosp*: *Myotis sp.*; *Nyclas*: *N. lasiopterus*; *nyclei*: *N. leisleri*; *nycnoc*: *N. noctula*; *pippip*: *P. kuhlii*; *kuh_nat*: *P. kuhlii*/*P. nathusii*; *pippip*: *P. pipistrellus*; *plesp*: *Plecotus sp.*; *pyg_min*: *P. pygmaeus*/*M. schreibersii*; *rhifer*: *R. ferrumequinum*; *rhipip*: *R. hipposideros*; *tadten*: *T. teniotis*) (GLMM). Los valores superiores a 1 indican mayor actividad en oscuridad (azul); los menores a 1, indican mayor actividad con luz (rojo). Se muestran los valores de significación, *: valor significativo para $p < 0,05$; ***: valor significativo para $p < 0,001$). Las líneas indican la varianza del efecto.

En segundo lugar, analizando únicamente aquellas especies para las cuales se ha constatado un efecto favorable y significativo de la iluminación, se ha analizado la respuesta de la actividad frente a la tipología concreta de farola, usándose como modelo

de base la actividad en ausencia de iluminación artificial. En la figura 7 se muestran los resultados obtenidos. Los efectos significativos y por encima del valor basal (1) muestran qué tipos de farolas son las que favorecen la actividad de cada especie de murciélago.

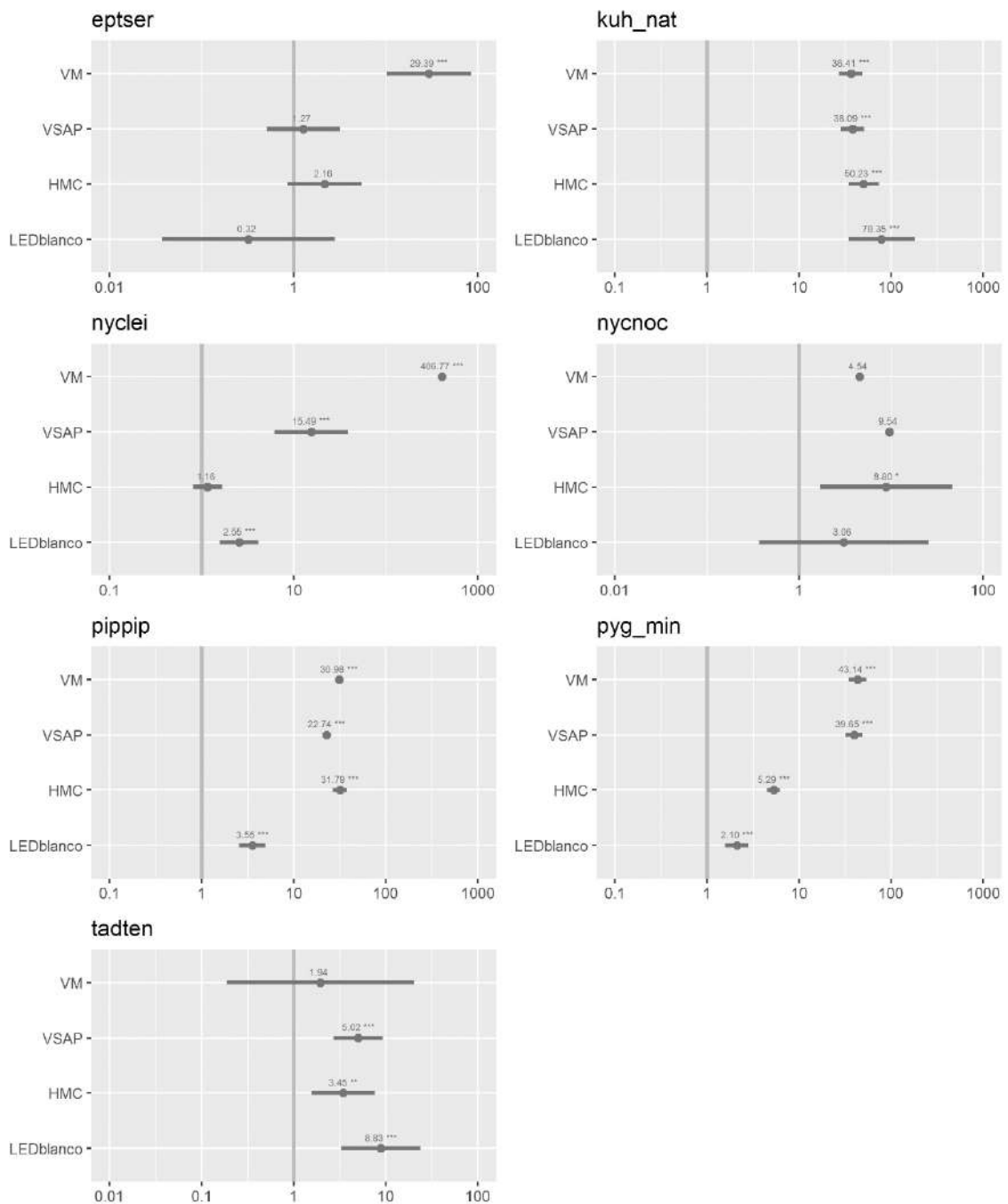


Figura 7. Efecto de cada tipo de luz sobre las especies en que se ha encontrado atracción hacia la iluminación artificial. (*eptser*: *E. serotinus*; *kuh-nat*: *P. kuhlii*/*P. nathusii*; *nyclei*: *N. leisleri*; *pippip*: *P. pipistrellus*; *pyg-min*: *P. pygmaeus*/*M. schreibersii*; *tadten*: *T. teniotis*) (GLMM). Los valores superiores a 1 indican mayor actividad de la observada en oscuridad y viceversa. Se muestran los valores de significación, *: valor significativo para $p < 0,05$; ***: valor significativo para $p < 0,001$). Las líneas indican la varianza del efecto.

3.2. Transectos nocturnos en vehículo

Se han registrado 572 vuelos de murciélagos pertenecientes a 8 especies además de otros vuelos que corresponden a géneros o grupos de especies sin poder precisar la especie (tabla 5). Calculando todos los vuelos registrados y la tasa de vuelos/km, para evitar la influencia de la desigual longitud de los tramos realizados en cada hábitat, se aprecia mayor actividad de murciélagos en las zonas iluminadas (8,68 vuelos/km) que en las oscuras (1,46 v/km). De entre los hábitats considerados, destacan los rurales de alta y baja densidad. Por el contrario, la actividad más baja se ha encontrado en los hábitats de cultivo/pradera, matorral/pastizal y bosque (Tabla 5). Estas diferencias son significativas ($\chi^2=1050,5$; $p<0,001$). Las mismas preferencias se observan, de forma similar, en los tres meses en que se han realizado los transectos (Figura 8).

Al considerar las especies identificadas en cada hábitat, se encuentran también diferencias claras, destacando las zonas iluminadas y el bosque ripario en la mayoría de las especies (Figura 9).

Tabla 5. Vuelos registrados en los transectos nocturnos con detector-grabador de ultrasonidos.

Hábitats	Recorrido (m)	Jul	Ago	Sep	Jul	Ago	Sep	Total
		Vuelos	Vuelos	Vuelos	V/km	V/km	V/km	V/km
Cultivo/Pradera	24.490	7	7	3	0,29	0,29	0,12	0,23
Matorral/Pastizal	23.880	22	30	8	0,92	1,26	0,34	0,84
Bosque	19.495	10	16	14	0,51	0,82	0,72	0,68
Bosque ripario	14.705	133	73	38	9,04	4,96	2,58	5,53
Rural Alta Dens.	3.590	46	50	22	12,81	13,93	6,13	10,96
Rural Baja Dens.	3.200	33	26	20	10,31	8,13	6,25	8,23
Urbano Alta Dens.	870	0	6	1	0,00	6,90	1,15	2,68
Urbano Baja Dens.	440	3	1	3	6,82	2,27	6,82	5,30
Total	90.670	254	209	109	2,80	2,31	1,70	2,10

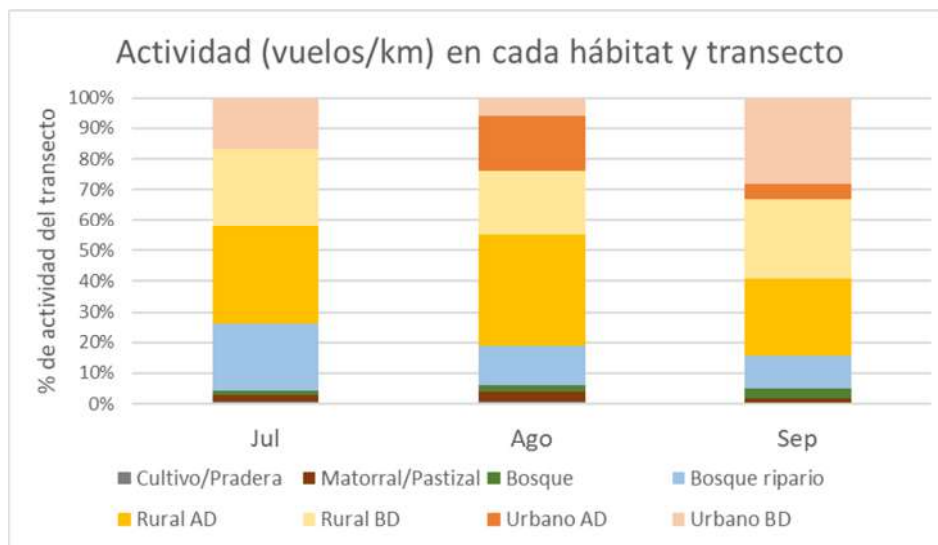


Figura 8. Porcentaje de actividad de murciélagos (vuelos/km) registrado en cada hábitat y en cada transecto nocturno.

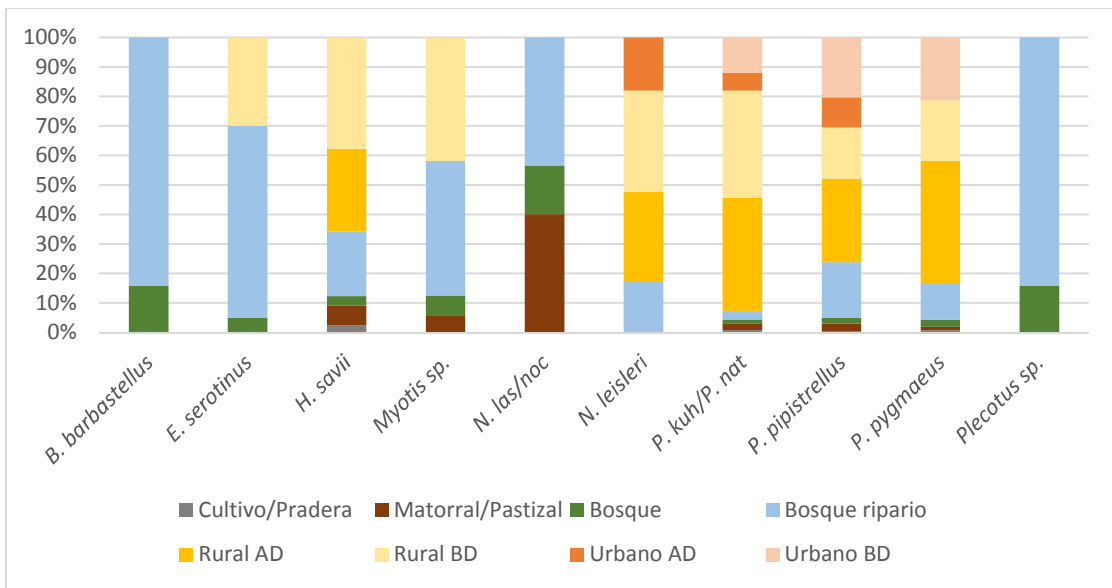


Figura 9. Porcentajes de actividad (tasa de vuelos/km) registrada durante los transectos nocturnos, para cada especie según los hábitats que ocupa.

4. Discusión

La vida en la tierra ha evolucionado durante millones de años bajo los ciclos diarios de luz y oscuridad. Plantas y animales han adaptado su ciclo circadiano en base a, entre otros aspectos, estos períodos de luz natural o ausencia de ella. Este ciclo ha permanecido invariable hasta hace escasas décadas, cuando la tecnología humana ha desarrollado fuentes de iluminación artificial y las ha instalado en entornos humanizados. La progresiva y extensa colonización de numerosas áreas por la humanidad, ha conllevado la instalación de luz artificial cada vez en más lugares, hasta el punto de que actualmente encontramos fuentes de luz artificial distribuidas por prácticamente todo el globo.

Paralelamente, el continuo avance tecnológico ha permitido desarrollar diferentes tipos de emisores de luz, y ahora encontramos en el medio distintas clases de iluminación artificial. Estas pueden diferir no sólo en la potencia de la emisión o en la direccionalidad de la luz, sino también en las longitudes de onda que se emiten.

La iluminación artificial interfiere, en muchos casos, con los ritmos fisiológicos de muchos seres vivos, alterando su comportamiento y por ende, el equilibrio ecológico de muchos hábitats naturales.

Los murciélagos, mamíferos nocturnos, han evolucionado para desarrollar gran parte de su ciclo vital durante las horas de la noche, asociados también al ritmo de sus presas, en su mayoría, también nocturnas.

Se han realizado diversos estudios tratando de conocer el grado de afección de la iluminación artificial sobre los murciélagos y se han observado diferentes efectos en función de las especies consideradas o la situación en que se produce esta iluminación artificial: distintas especies se comportan de diferente forma frente a la luz, pero además, una misma especie puede reaccionar de distinta forma si el área iluminada es un refugio, una zona de caza o una zona de paso.

Voigt *et al.* (2018) realizan una revisión de estos trabajos y concluyen tres tipos de comportamiento de los murciélagos frente a la luz artificial: reacción adversa, neutra y oportunista. La adversa se observa en las especies que evitan o reducen su actividad en las zonas iluminadas. La respuesta neutra significa que el murciélago no se ve influenciado por la presencia de luz artificial. Una respuesta oportunista se produce cuando el murciélago se ve atraído hacia las zonas iluminadas.

Al considerar la actividad de caza de estos mamíferos en relación a la luz artificial, es preciso tener en cuenta también el efecto de esta sobre los insectos; muchos de ellos son atraídos por las fuentes de luz, especialmente si éstas tienden hacia el ultravioleta (Wakefield *et al.* 2016). La inusual abundancia de algunos insectos en el entorno de las farolas es realmente el factor que atrae a algunas especies de murciélagos, no la luz en sí; estas pueden verse entonces indirectamente beneficiadas por la luz artificial (Rowse *et al.*, 2016). Sin embargo, este fenómeno altera la distribución de muchos insectos en el medio natural, disminuyendo la disponibilidad de presas para otras especies de murciélagos que cazan exclusivamente en zonas oscuras (Eisenbeis, 2006)

En el presente trabajo se ha tratado de conocer la respuesta de los murciélagos presentes en zonas del Pirineo navarro frente a diferentes tipos de iluminación artificial instalada en pequeños pueblos del lugar.

Considerando los datos globales recogidos en las grabadoras de ultrasonidos, junto a farolas, las zonas iluminadas muestran una actividad muy superior (128 vuelos/hora de grabación) a las oscuras (6 v/h). Es decir, algunas especies oportunistas se ven atraídas por las farolas y concentran su actividad en su entorno. En este grupo se encuentran 6 especies o parejas de especies: *E. serotinus*, *N. leisleri*, *P. kuhlii/P. nathusii*, *P. pipistrellus*, *P. pygmaeus/M. schreibersii* y *T. teniotis*. Por el contrario, al menos 4 especies y las pertenecientes a otros dos géneros, muestran aversión a las zonas con iluminación artificial, y su actividad es significativamente mayor en las zonas oscuras: *B. barbastellus*, *H. savii*, *R. hipposideros*, *R. ferrumequinum* y los murciélagos de los géneros *Myotis* y *Plecotus*. El resto de especies o grupos de especies identificados no ha mostrado una reacción significativa de atracción o rechazo hacia las zonas con iluminación artificial, pero no se puede afirmar que tengan una reacción neutra, ya que ello puede también ser debido a una insuficiencia de datos. Estos resultados son concordantes con los recopilados por Voigt *et al.* (2008)

En cuanto al efecto que produce cada tipo de luz, se ha comprobado la atracción de algunos murciélagos hacia zonas iluminadas artificialmente para las cuatro clases de emisión estudiadas: VM, HMC, VSAP y LED blanco. Sin embargo, el efecto es diferente según especies y tipos de luz. Las especies del género *Pipistrellus* son atraídas hacia todos los tipos de luz, mientras que en el lado contrario, el murciélago hortelano (*E. serotinus*) sólo se ha visto atraído hacia las lámparas de VM (Tabla 4). No obstante, es posible que estos datos estén relacionados con la cantidad de datos obtenidos, ya que las especies del género *Pipistrellus* poseen, en general, poblaciones numerosas y por ello han sido las que mayor número de datos han suministrado.

Tabla 6. Efecto de diferentes tipos de iluminación sobre cada especie o grupo de especies en los que se ha registrado atracción hacia la luz.

Especies	VM	VSAP	HMC	LED blanco
<i>E. serotinus</i>	+			
<i>N. leisleri</i>	+	+		+
<i>P. kuhlii/P. nathusii</i>	+	+	+	+
<i>P. pipistrellus</i>	+	+	+	+
<i>P. pygmaeus/M. schreibersii</i>	+	+	+	+
<i>T. teniotis</i>		+	+	+

Los transectos nocturnos realizados en vehículo han aportado un número relativamente reducido de identificaciones (572) repartidas entre 13 especies o grupos de especies. Al igual que con las grabadoras, se aprecia una actividad significativamente más intensa en los hábitats iluminados que en los oscuros. Además, entre estos últimos, destaca el hábitat ripario con una mayor tasa de vuelos/km.

En definitiva, se ha comprobado que la iluminación artificial utilizada en pueblos del Pirineo navarro (lámparas VM, HMC, VSAP y LED blancas) interfiere en la actividad normal de los murciélagos. Ello probablemente favorece a algunas especies oportunistas, que encuentran

mayor abundancia de presas concentradas cerca de las farolas, pero perjudica a otras que huyen las zonas iluminadas. Estos lugares pueden crear un “efecto aspirador” (Eisenbeis 2006, Verovnik *et al.* 2015) al retirar insectos-presa de las zonas oscuras, alterando la disponibilidad natural de alimento en el medio. Los LED blancos, que son cada vez más utilizados para sustituir a las demás fuentes de luz, parecen tener un efecto menor sobre el comportamiento de las mariposas (Pawson y Bader, 2014) y en consecuencia sobre la actividad de los murciélagos; sin embargo, en Burgi se ha observado una influencia significativa de este tipo de lámparas sobre al menos 5 especies o parejas de especies. En Inglaterra se ha comprobado que incluso las zonas iluminadas con LEDs blancos de baja intensidad son evitadas por algunas especies como el murciélago pequeño de herradura, *R. hipposideros*, pudiendo constituir auténticas barreras que aíslan poblaciones o reducen sus áreas de dispersión y campeo (Stone *et al.*, 2015). Spoelstra *et al.* (2017) observaron que, en el entorno de luces de color rojizo, tanto las especies de murciélagos *luz-oportunistas* (*Pipistrellus sp.*) como las *luz-adversas* (*Myotis sp.* y *Plecotus sp.*) mostraban un comportamiento similar al registrado en condiciones de oscuridad.

Por todo ello, Voight *et al.* (2018) recomiendan sustituir las lámparas de VM, HMC, VSAP e incluso las LEDs blancas por LEDs ámbar, que parecen tener una mejor influencia en el comportamiento de los murciélagos. En consecuencia, cabe aplicar esta misma recomendación para los pueblos del Pirineo navarro, así como para el resto de las iluminaciones empleadas en otras zonas que se encuentren en zonas habitadas por estos mamíferos.

Por otro lado, es importante estudiar previamente la intensidad y la direccionalidad de las luces a colocar, adaptando su potencia y dirección a la necesidad de cada lugar, evitando una iluminación excesivamente potente y una iluminación de zonas que no la requieren. Cabe reseñar aquí la excesiva potencia de las lámparas LED de la rotonda de Burgi, más aún tratándose de una zona situada fuera del casco urbano, cuya finalidad es únicamente la iluminación de la carretera.

Por último, se recomienda considerar la posibilidad de apagar la iluminación nocturna de algunas zonas como la rotonda de Burgi o el polígono industrial de Iciz, en horarios de bajo o nulo tránsito (p.e. entre las 24 y las 5 de la madrugada). Ello supondría una considerable reducción de las interferencias sobre la fauna, así como una disminución de la contaminación lumínica y un ahorro energético.

5. Bibliografía

- Ahlén, I., 1990. *Identification of bats in flight*. Swe. Soc. Cons. Nature & Swe. Youth Ass. Env. Stud. Cons., Stockholm. 50 pp.
- Barataud, M., 2012-2014: *Écologie acoustique des chiroptères d'Europe*. Biotope Éditions, Mèze. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. 344 pp.
- Eisenbeis, G., 2006. Artificial night lighting and insects: attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. In: Rich, C., Longcore, T. (Eds.), *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Washington, pp. 281–304.
- Haquart, A., Disca, T., 2007. Caractéristiques acoustiques et nouvelles données de Grande Noctule *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780) dans le sud de la France. *Le Vespère* 1: 5-20.
- Orbist, M.K., Boesch, R., Flückiger, P.F., 2004. Variability in echolocation call design of 26 Swiss bat species: consequences, limits and options for automated field identification with a synergetic pattern recognition approach. *Mammalia* 68 (4): 307-322.
- Pawson, S.M., Bader, M.K.F., 2014. LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature. *Ecological Applications* 24: 1561-1568.
- Rowse, E.G., D. Lewanzik, E.L. Stone, S. Harris, G. Jones, 2016. Dark Matters : The Effects of Artificial Lighting on Bats. In: Voigt C.C., Kingston T. (Eds.): *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world*. Springer Cham, Berlín, pp: 187-213.
- Russo, D., Jones, G., 2002. Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recordings of echolocation calls. *J. Zool. Lond.* 258: 91-103.
- Spoelstra, K., R.H.A. van Grunsven, J.J.C. Ramakers, K.B. Ferguson, T. Raap, M. Donners, E.M. Veenendaal, M.E. Visser, 2017. Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proc. R. Soc. B* 284(1855): doi: 10.1098/rspb.2017.0075.
- Stone, E.L., Harris, S., Jones, G., 2015. Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. *Mamm. Biol. - Zeitschrift für Säugetierkd.* 80(3): 213–219.
- Verovnik, R., Ž. Fišer & V. Zakšek, 2015. How to reduce the impact of artificial lighting on moths: A case study on cultural heritage sites in Slovenia. *Journal for Nature Conservation* 28: 105-111.
- Voigt, C.C, C. Azam, J. Dekker, J. Ferguson, M. Fritze, S. Gazaryan, F. Hölker, G. Jones, N. Leader, D. Lewanzik, H.J.G.A. Limpens, F. Mathews, J. Rydell, H. Schofield, K. Spoelstra, M. Zigmajster, 2018. Guidelines for consideration of bats in lighting projects. EUROBATS Publication Series No. 8. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bon, 62 pp.
- Wakefield, A., M. Broyles, E.L. Stone, S. Harris, G. Jones, 2018. Quantifying the attractiveness of broad-spectrum street lights to aerial nocturnal insects. *J Appl Ecol.* 55: 714-722.
- Zuur, E. N. Ieno, N. Walker, A. A. Saveliev, G. M. Smith, *Mixed effects models and extensions in ecology with R* (Springer New York, New York, NY, 2009; <http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-87458-6>), *Statistics for Biology and Health*.

Anexo I. Resultados obtenidos en las grabadoras autónomas, por localidades y fechas.

En las siguientes tablas se indica el número de vuelos de cada especie registrado en cada noche y lugar de muestreo.

Bigüezal Farola	13/09/ 2018	14/09/ 2018	15/09/ 2018	16/09/ 2018	17/09/ 2018	18/09/ 2018	19/09/ 2018	Total
<i>B. barbastellus</i>	2	1	1	2	3		1	10
<i>E. serotinus</i>		3	2	2		2		9
<i>H. savii</i>	10	3	3	6	4	12	1	39
<i>Indeterminado</i>			1			1		2
<i>M. schreibersii</i>	43	5	6	72	20	11	2	159
<i>Myotis sp.</i>	1		1	3		2		7
<i>N. leisleri</i>	3	4	7	2	9	9		34
<i>N. noctula</i>	2							2
<i>P. kuhlii</i>	24	48	35	28	50	59	20	264
<i>P. pipistrellus</i>	962	1183	900	847	716	636	55	5299
<i>P. pygmaeus</i>	88	40	622	769	92	619	67	2297
<i>Plecotus sp.</i>	3	2				1		6
<i>R. ferrumequinum</i>		1				1		2
<i>R. hipposideros</i>	1							1
<i>T. teniotis</i>	9	36	3		8	2		58
Total	1148	1326	1581	1731	902	1355	146	8189

Bigüezal Oscuridad	13/09/ 2018	14/09/ 2018	15/09/ 2018	16/09/ 2018	17/09/ 2018	18/09/ 2018	19/09/ 2018	Total
<i>B. barbastellus</i>	4	1		2				7
<i>E. serotinus</i>					1		1	2
<i>H. savii</i>	1		1	3	4	3		12
<i>Indeterminado</i>			1	1	1	1	1	5
<i>M. schreibersii</i>	1	1		1	5	1	1	10
<i>Myotis sp.</i>	3	6			1	2		12
<i>N. leisleri</i>		1						1
<i>P. kuhlii</i>			1		1			3
<i>P. pipistrellus</i>	7	4	3	2	6	2	4	28
<i>P. pygmaeus</i>	4	4	11	6	7	18	4	54
<i>Plecotus sp.</i>	4			1			1	6
<i>R. hipposideros</i>	2	1						3
<i>T. teniotis</i>	2			3	1	2	1	9
Total	28	18	17	19	27	29	13	152

Burgi Farola	28/09/2018	29/09/2018	30/09/2018	01/10/2018	02/10/2018	03/10/2018	Total
<i>E. serotinus</i>				1			1
<i>H. savii</i>			1				1
Indeterminado		1	1				2
<i>M. schreibersii</i>	2	3	1	19	1	2	28
<i>Myotis sp.</i>	1						1
<i>N. lasiopterus</i>	1					1	2
<i>N. leisleri</i>	10	10	11	1	21	6	59
<i>N. noctula</i>					3		3
<i>P. kuhlii</i>	24	51	26		134	56	291
<i>P. kuh/nat</i>	10	30	4		98	11	153
<i>P. pipistrellus</i>	29	40	9	8	29	51	166
<i>P. pygmaeus</i>	37	13	13	14	23	18	118
<i>Plecotus sp.</i>	1		1		2		4
<i>T. teniotis</i>	4	8	4	9			25
Total	119	156	71	52	311	145	854

Burgi Oscuridad	28/09/2018	29/09/2018	30/09/2018	01/10/2018	02/10/2018	03/10/2018	Total
<i>B. barbastellus</i>	1		7	2	1		11
<i>E. serotinus</i>	1						1
<i>H. savii</i>	1		1			1	3
Indeterminado	1	1		1		1	4
<i>M. schreibersii</i>			2	1			3
<i>Myotis sp.</i>		1	5				6
<i>N. lasiopterus</i>	1						1
<i>N. leisleri</i>	2	4	6	1	8	2	23
<i>P. kuhlii</i>					3	3	6
<i>P. pipistrellus</i>	11	8	14		2	12	47
<i>P. pygmaeus</i>	13	13	15	19	3	3	66
<i>Plecotus sp.</i>	4	7	58	5	11	13	98
<i>R. ferrumequinum</i>	1	1	4	2	4	5	17
<i>R. hipposideros</i>			1				1
<i>T. teniotis</i>	1	1	1				3
Total	37	36	114	31	32	40	290

Garde Farola	22/09/2018	23/09/2018	24/09/2018	25/09/2018	26/09/2018	27/09/2018	Total
<i>B. barbastellus</i>	1						1
<i>E. serotinus</i>	4		1		1	2	8
<i>H. savii</i>	4	5	1	2		4	16
Indeterminado	3		1	1	1	1	7
<i>M. schreibersii</i>	3	1			1	1	6
<i>Myotis sp.</i>				1			1
<i>N. lasiopterus</i>	1					2	3
<i>N. leisleri</i>	21	2	2	2	9	23	59
<i>N. noctula</i>				3		2	5
<i>P. kuhlii</i>	141	847	7	82	76	237	1390
<i>P. pipistrellus</i>	431	1498	185	725	280	663	3782
<i>P. pygmaeus</i>	133	135	59	107	186	358	978
<i>Plecotus sp.</i>				1	2	1	4
<i>T. teniotis</i>			3	7	3	2	15
Total	742	2488	259	931	559	1296	6275

Garde Oscuridad	22/09/2018	23/09/2018	24/09/2018	25/09/2018	26/09/2018	27/09/2018	Total
<i>B. barbastellus</i>	4	4	2	2	9	16	37
<i>E. serotinus</i>	5	1				2	8
<i>H. savii</i>	2	13	1	6	3	17	42
Indeterminado	1			1	1	1	4
<i>M. schreibersii</i>	2	1				1	4
<i>Myotis sp.</i>	4	1	2	6	1	4	18
<i>N. leisleri</i>	19	7	3	3	3	16	51
<i>N. noctula</i>	1					1	2
<i>P. kuhlii</i>	4	9	1	5	3	6	28
<i>P. pipistrellus</i>	18	46	21	7	13	14	119
<i>P. pygmaeus</i>	19	42	14	20	25	62	182
<i>Plecotus sp.</i>	1			5	7	5	18
<i>R. hipposideros</i>		1	2			3	6
<i>T. teniotis</i>				3	1	1	5
Total	80	125	46	58	66	149	524

Iciz Plaza Farola	03/08/ 2019	04/08/ 2019	05/08/ 2019	06/08/ 2019	07/08/ 2019	08/08/ 2019	09/08/ 2019	Total
<i>E. serotinus</i>	16	20	14	9	4	1	2	66
<i>H. savii</i>	3	5		3	25	15	1	52
<i>Indeterminado</i>		1	2	3	5	3		14
<i>N. leisleri</i>	101	98	163	79	47	18	621	1127
<i>N. noctula</i>				1				1
<i>P. kuhlii</i>	145	297	168	91	213	336	164	1682
<i>P. pipistrellus</i>	2886	2822	2728	2301	2655	1589	40	15021
<i>P. pygmaeus</i>	174	146	195	189	294	194		1192
<i>Plecotus sp.</i>				3	1	2		6
<i>R. ferrumequinum</i>						1		1
<i>T. teniotis</i>					1			1
Total	3325	3389	3270	2679	3245	2159	828	19163

Iciz Polígono Farola	03/08/ 2019	04/08/ 2019	05/08/ 2019	06/08/ 2019	07/08/ 2019	08/08/ 2019	09/08/ 2019	Total
<i>E. serotinus</i>				1				1
<i>H. savii</i>	2	3	5		5	11		26
<i>Indeterminado</i>		1						1
<i>M. schreibersii</i>		3	2	2	1	3		11
<i>M. schr/P. pygm</i>			4	49	18	54		125
<i>N. lasiopterus</i>	1	1			1	3		6
<i>N. leisleri</i>	3	4		4	16	3		30
<i>N. noctula</i>				2				2
<i>P. kuhlii</i>	207	338	220	170	168	185		1600
<i>P. pipistrellus</i>	1126	1851	1892	1607	1561	1741		9778
<i>P. pygmaeus</i>	50	123	126	133	104	236		772
<i>T. teniotis</i>					1			1
Total	1389	2324	2249	1968	1875	2236	0	12353

Iciz Oscuridad	03/08/ 2019	04/08/ 2019	05/08/ 2019	06/08/ 2019	07/08/ 2019	08/08/ 2019	09/08/ 2019	Total
<i>B. barbastellus</i>	11	13	7	6	1	1		39
<i>E. serotinus</i>	2						2	4
<i>H. savii</i>	10	17	19	8	13	19	12	98
<i>Indeterminado</i>				1		1		2
<i>Myotis</i>	1	2		5		1		9
<i>N. lasiopterus</i>							1	1
<i>N. leisleri</i>		1	1		1	1		4
<i>P. kuhlii</i>	2	13	5	4	8	5	1	38
<i>P. kuh/nat</i>				1	1	3		5
<i>P. pipistrellus</i>	113	96	125	155	69	85	38	681
<i>P. pygmaeus</i>	3	4	1	2	5	9	2	26
<i>Plecotus sp.</i>			2					2
<i>R. ferrumequinum</i>				1				1
<i>R. hipposideros</i>			1					1
<i>T. teniotis</i>		1			1			2
Total	142	147	161	183	99	127	54	913