

Efectos de la luz artificial en la vida silvestre: caso de los insectos del orden Coleoptera

Effects of artificial light on wildlife: the case of insects of the order Coleoptera

Jesus Chachi-Rodriguez^{1*}, Jennifer Villavicencio-Huamani¹
y José Iannacone^{1,2}

1 Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.
2 Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Ambiental (LEBA). Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Escuela Universitaria de Posgrado (EUPG). Grupo de Investigación de Sostenibilidad Ambiental (GISA). Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima, Perú.



Citar como: J. Chachi-Rodríguez *et al.* (2022). «Efectos de la luz artificial en la vida silvestre: caso de los insectos del orden Coleoptera». *South Sustainability*, 3(1) e054.
DOI: 10.21142/SS-0301-2022-e054

Artículo recibido: 14/2/2022
Arbitrado por pares
Artículo aceptado: 25/4/2022



© Los autores, 2022. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
100032798@cientifica.edu.pe

RESUMEN

Actualmente, el uso masificado de fuentes de luz artificial permite el desarrollo de varias actividades. Sin embargo, pueden causar perturbaciones en los insectos adaptados a los cambios de luz natural. El objetivo fue recopilar evidencia de los efectos de la luz artificial en los insectos del orden Coleoptera. Los resultados evidencian sensibilidad hacia la luz, debido a los fotorreceptores de los coleópteros. Identificamos repercusiones a nivel individual, poblacional y comunitario. Estos efectos tienen aplicación para la gestión de la iluminación en la conservación ecológica, manejo de plagas e investigaciones médicas. Concluimos que los efectos son potenciales para la pérdida de biodiversidad si la gestión de la iluminación no es la adecuada.

Palabras clave: luz artificial, bioluminiscencia, Coleoptera, distribución, orientación

ABSTRACT

Today, the mass use of artificial light sources makes it possible to engage in range of activities. However, it may also lead to disturbances in the behavior of insects adapted to changes in natural light. The aim of this study was to gather evidence of the effects of artificial light on insects from the order Coleoptera. The results showed sensitivity to light due to the photoreceptors possessed by beetles. We identified repercussions at individual, population and community levels. These effects have implications for lighting management in the contexts of ecological conservation actions, pest management and medical research. We concluded that the potential effects could include biodiversity loss, if lighting management is not properly applied.

Keywords: artificial light, bioluminescence, Coleoptera, distribution, orientation



Introducción

La luz como factor ambiental es fundamental para el ritmo biológico de los animales, y es notable en la bioluminiscencia o la orientación por cuerpos celestes (Teikari, 2007; Elgert et al., 2020; Foster et al., 2021). Los patrones de luz natural están regidos principalmente por el Sol y la Luna, y varían según el tiempo y la ubicación geográfica (Longcore y Rich, 2016). Con las fuentes de luz artificial, el ser humano es capaz de modificar dichos patrones para realizar actividades en horas nocturnas. Esto ha generado un incremento de áreas iluminadas, que entre 2012 y 2016 aumentaron 2,2 % al año, a escala mundial (Kyba et al., 2017). Entre 1998 y 2018, alrededor del 50 % de áreas naturales protegidas experimentaron mayor iluminación nocturna, con mayor frecuencia en Norteamérica, Europa y Asia occidental (Mu et al., 2021).

La iluminación artificial es beneficiosa para el control de plagas e identificación de vectores (Kim et al., 2019; Lima et al., 2015). Sin embargo, existen casos en los que su acción es neutral, como en la polinización por polillas de la planta *Silene latifolia* Poir. (Macgregor et al., 2019) o el desarrollo de larvas de *Photuris* sp. (Owens y Lewis, 2021b). Por otro lado, puede dificultar el desarrollo y la interacción con el entorno en especies crepusculares y nocturnas (Longcore y Rich, 2016), lo que repercute en el tamaño poblacional de polillas y luciérnagas (Owens y Lewis, 2018), el aumento de vectores de la dermatitis linearis (Maryam et al., 2017) y la alteración de la estructura comunitaria (Davies et al., 2017; Manfrin et al., 2017; Deichmann et al., 2021).

Con el fin de controlar el impacto de la iluminación artificial, se requiere ajustar la luminosidad según la sensibilidad del fotorreceptor. Asimismo, existe necesidad de seleccionar especies indicadoras de calidad nocturna y de urbanización (González et al., 2014; Sordello, 2017). Por la problemática y las razones mencionadas, este artículo de revisión tiene como objetivo recopilar evidencia de los efectos de la luz artificial en los insectos del orden Coleoptera.

Características de la luz

Propiedades de la luz

El espectro electromagnético abarca longitudes de ondas y se miden en nanómetros. La luz agrupa el espectro visible al ser humano aproximadamente entre los 400 a 700 nm (Owens y Lewis, 2018). En la fotometría, la cantidad de luz en un ambiente se puede representar mediante la intensidad luminosa (cd), el flujo luminoso (lm), la luminancia (cd/m^2), la iluminancia (lux), entre otros métodos; mientras que la astronomía utiliza magnitudes absolutas (M), magnitudes relativas (m) y brillo de superficie ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) (Teikari, 2007).

La polarización electromagnética consiste en el cambio de dirección y densidad de ondas electromagnéticas que

inciden sobre una superficie; naturalmente se presenta la luz parcialmente polarizada linealmente. Como ejemplos de superficies que generan esta luz polarizada están la atmósfera y la hidrosfera (Horváth et al., 2009). A pesar de que las mediciones de luz no son buenos predictores del impacto hacia otros organismos, pues priorizan la sensibilidad del ojo humano en vez de otros fotorreceptores (Longcore y Rich, 2016), son usados para la gestión de la iluminación en los estándares y categorización de zonas (Jägerbrand y Bouroussis, 2021; Teikari, 2007).

Fuentes de luz artificial

Cada fuente de luz artificial posee una distribución espectral de potencia (SPD, siglas en inglés) que consiste en la distribución de longitudes de onda emitidas. La agrupación de estas ondas define una temperatura de color correlacionada (TCC) que se mide en kelvin (K). Los valores bajos corresponden a mayor cantidad de longitudes de onda largas y una luz cálida (ámbar), mientras que los valores altos a mayor cantidad longitudes de onda cortas y una luz fría (azul) (Longcore y Rich, 2016). Las SPD tienen mayor energía en determinadas longitudes de onda y pueden dar lugar a una TCC. Por ejemplo, los ledes con un rango entre 2700 K y 6500 K pueden coincidir con las fuentes incandescentes con rango entre 2400 K y 2800 K (Jägerbrand y Bouroussis, 2021; Longcore y Rich, 2016).

Las fuentes de luz artificial tienen un amplio desarrollo tecnológico; se iniciaron con las fuentes incandescentes, de vapor de mercurio de baja presión (fluorescentes) y halógenas. Estas fueron reemplazándose sucesivamente para mejorar el periodo de vida, eficiencia energética y otros atributos, como el rendimiento cromático, hasta tal punto que las fuentes de luz artificial emitían mayor radiación ultravioleta e infrarroja (calor). Con la aparición de fuentes de sodio de alta presión (HPS, por sus siglas en inglés), baja presión (LPS, por sus siglas en inglés) y los ledes, se logra reducir tales emisiones y el mercurio, y aumentar el periodo de vida y eficiencia energética (Owens y Lewis, 2018; Teikari, 2007). Asimismo, reducen los efectos en la biodiversidad; por ejemplo, los ledes de luz cálida disminuyen la luz ultravioleta y longitudes de onda corta, que son muy atractivas para los insectos (Longcore y Rich, 2016).

Sensibilidad de los insectos hacia la luz

Los fotorreceptores de los insectos generalmente son sensibles a longitudes de onda del azul, verde y ultravioleta. Si son atraídos por una fuente de luz artificial, se da fototaxia positiva; en caso contrario, es fototaxia negativa. Entre las características fisiológicas que pueden definir el comportamiento, se encuentran los genes de la opsina, que ajustan la sensibilidad de los fotorreceptores (Kim et al., 2019). Los insectos presentan tres tipos de opsina: UV, SW y LW. La opsina tipo SW otorga sensibilidad a las longitudes de onda azul; sin embargo, los coleópteros de las familias taxonómicas Chrysomelidae, Coccinellidae

y Buprestidae carecen de ello; en cambio, desarrollaron la sensibilidad mediante la duplicación de genes de la opsin tipo UV (Sharkey *et al.*, 2017).

El tiempo de incidencia y la intensidad de luz influyen en los ritmos biológicos de diversos lapsos a través del fotoperiodo. El comportamiento reproductivo de *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae) es más activo a medida que aumenta el tiempo de luz en los fotoperiodos de 0:24 a 24:0 (luz: oscuridad) (Wang *et al.*, 2014a). Este último fotoperiodo puede aumentar la mortalidad a largo plazo como en *Astylus trifasciatus* (Guérin-Méneville, 1844) (Coleoptera: Melyridae) (Valenzuela-Zuccar, 2020). También interfiere con la bioluminiscencia; mientras los LPS afectan más a especies con bioluminiscencia amarilla, los ledes blancos afectan más a especies con bioluminiscencia verdes (Owens y Lewis, 2018).

A nivel ecológico, la luz artificial genera efectos de fijación, barrera o succión hacia los insectos. Por ejemplo, la luz polarizada proveniente de materiales artificiales atrae insectos acuáticos que luego ovipositan en estas superficies en vez de cuerpos de agua y, dependiendo del material de la superficie, aumentan la tasa de mortalidad de insectos (Horváth *et al.*, 2009). En otros casos favorece la depredación de algunos coleópteros categorizados como controladores biológicos (Miller *et al.*, 2017; Bennie *et al.*, 2018).

Metodología

Para la revisión sistemática de las evidencias se adaptó el protocolo de Denyer y Tranfield (2009), que organiza la revisión sistemática, incluyendo los resultados en cinco pasos.

Alcance del estudio

Para el análisis de las evidencias se plantearon las siguientes preguntas: ¿En qué condiciones la luz artificial afecta a los coleópteros? ¿Cuáles son las características de los coleópteros afectadas por la luz artificial? ¿A qué nivel de organización ecológica se presentaron los efectos?

Localización de estudios

La búsqueda sistemática se realizó en la base de datos Scopus. Los términos empleados fueron: («artificial light» OR «light pollution» OR «photo pollution») «coleoptera» AND «insect» («vision» OR «adaptation» OR «attraction»). La búsqueda manual se efectuó a partir de la bibliografía de artículos de revisión y de estudios seleccionados por búsqueda sistemática.

Selección de estudios

El primer criterio fue la mención de organismos con taxonomía del orden Coleoptera en los estudios. Para ello, se procedió a leer el título, el resumen y los principales

resultados. Se excluyeron estudios no alineados al tema, duplicados y de revisión. También se descartaron estudios que no reportan alguna característica de la fuente artificial de luz y resultados hasta nivel taxonómico de orden. Con estos criterios se seleccionó 62 estudios.

Análisis y síntesis

Conforme a las preguntas planteadas se realizó una descripción de las principales características afectadas. Asimismo, los efectos se categorizaron según el nivel de organización ecológica mediante los conceptos descritos por Haynes y Robertson (2021). Para una mayor síntesis tabulamos los efectos y analizamos su repercusión en la gestión de la iluminación con mayor énfasis en la conservación.

Resultados

Efectos a nivel individual

Interfiere con la bioluminiscencia (tabla 1). *Lampyrus noctiluca* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Lampyridae), *Photuris versicolor* (Fabricius, 1798) (Coleoptera: Lampyridae), *Photinus pyralis* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Lampyridae) y machos de *Aquatica ficta* (E. Olivier, 1909) (Coleoptera: Lampyridae) reducen la frecuencia de destellos a mayor iluminancia (Firebaugh y Haynes, 2016, 2019; Owens *et al.*, 2018; Elgert *et al.*, 2020). El destello de hembras de *L. noctiluca* con mayor brillo pueden mitigar los efectos de la luz artificial, aunque a mayor tiempo de exposición dejan de destellar (Elgert *et al.*, 2021a, 2021b). Los destellos de machos de *Photinus obscurellus* (LeConte, 1851) (Coleoptera: Lampyridae) tienen mayor notoriedad a mayor iluminancia y luz roja; las hembras reducen la notoriedad del destello según las longitudes de onda. Asimismo, evidenciaron un cambio adaptativo temporal en ambos sexos (Owens y Lewis, 2021a).

Otros efectos se encontraron en la etapa larvaria (tabla 1). En larvas de *A. ficta* evidenciaron la represión de genes relacionados con el ritmo circadiano, desarrollo de ovocitos, metabolismo y regulación hormonal (Chen *et al.*, 2021). Al cambiar a un fotoperiodo de verano-otoño, las larvas de estadio temprano de *Photuris* sp. aumentaron de peso (Owens y Lewis, 2021b). Algunos dependen de la iluminación para orientarse (tabla 1). Luces verdes de misma intensidad desorientan a *Kepher lamarcki* (MacLeay, 1821) (Coleoptera: Scarabaeidae) (El Jundi *et al.*, 2015). Smolka *et al.* (2016) evidenciaron que la tortuosidad de la misma especie aumenta a menor luminancia, al igual que en *Scarabaeus satyrus* (Boheman, 1860) (Coleoptera: Scarabaeidae). *S. satyrus* se desorienta con iluminación indirecta, debido al uso de señales terrestres para orientarse en sitios iluminados (Foster *et al.*, 2021).

Se activan o inhiben patrones de comportamiento (tabla 1). Machos de *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) (Coleoptera: Carabidae) en luz blanca y roja caminan menos tiempo con mayor duración en sus pausas. De



Tabla 1. Efectos a nivel individual generado por fuentes de luz artificial en el orden Coleóptera

Taxón	Color y/o longitud de onda (nm)	Fuente de luz artificial	Medida fotométrica	Efecto	Referencia
Lampyridae					
<i>Lampyris nocticula</i>	Blanco (455)	-	15 – 20 lux	Altera la bioluminiscencia	(Elgert et al., 2021a)
	-		7 – 20 lux		
	Blanco (660, 440)	LED	0,5 – 40 lux		(Elgert et al., 2020)
	Blanco		15 – 20 lux		
			≈ 15 lux		(Stewart et al., 2020)
Naranja	LPS	> 0,02 lux	Menor probabilidad de apareamiento	(Van den Broeck et al., 2021a, 2021b)	
	Blanco	Halógeno	0,07 – 0,3 lux		(Bird y Parker, 2014)
<i>Photinus obscurellus</i>	Blanco (452, 616,43), azul (455,31), ámbar (613,41) y rojo (658,06)		$1,05 \times 10^{19} - 2,08 \times 10^{20}$ fotones $\text{cm}^2 \text{s}$ a 60,8 cm		(Owens y Lewis, 2021a)
<i>Photuris versicolor</i>	-		301,24 lux	Altera la bioluminiscencia	(Firebaugh y Haynes, 2016)
			57,4 lux		(Firebaugh y Haynes, 2019)
<i>Photinus pyralis</i>	Blanco	LED	301,24 lux	Menor probabilidad de cortejo	(Firebaugh y Haynes, 2016)
	444 – 533		20 – 200 lux	Altera la bioluminiscencia	(Owens et al., 2018)
<i>Aquatica ficta</i>	Blanco (446, 515, 629)		≈ 10^{-5} lux	Represión de la expresión genética de las larvas	(Chen et al., 2021)
	Blanco		50 lux	Aumento de peso de las larvas de estadio temprano	(Owens y Lewis, 2021b)
<i>Photuris sp.</i>	-	Fluorescente	1665 lux		
	Blanco	LED	16 – 800 lux	Limita el movimiento de larvas	(Mbugua et al., 2020)
<i>Lamprigera sp.</i>	-		> 3 lux		
Scarabeidae					
<i>Kepher lamarcki</i>	Verde (530)	LED	$3,89 \times 10^{12} - 4,21 \times 10^{12}$ fotones $\text{cm}^2 \text{s}$	Desorientación	(El Jundi et al., 2015)
	-	Halógeno	< 0,0001 cd/m^2	Aumento de la tortuosidad	(Smolka et al., 2016)
<i>Scarabaeus satyrus</i>	-	Variado*	$10^4 - 10^7$ fotones $\text{cm}^2 \text{ssnm}$	Desorientación	(Foster et al., 2021)
<i>Oryctes rhinoceros</i>	Blanco	LED	-	Fototaxia positiva	(Indriyanti et al., 2021)
Carabidae					
<i>Pterostichus melanarius</i>	Blanco (320, 780)	HPS	$12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	Altera el movimiento en el tiempo, velocidad y pausas	(Allema et al., 2012)
	Rojo (620,5, 645)		$< 0,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$		
<i>Chlaenius nigricornis</i>		LED		Menor actividad nocturna	(Eccard et al., 2018)
<i>Limodromus longiventris</i>	Blanco		10 – 20 lux		
Silphidae					
<i>Silpha tristis</i>				Menor actividad nocturna	(Eccard et al., 2018)
<i>Thanatophilus sp.</i>	Blanco	LED	10 – 20 lux		

Tenebrionidae					
<i>Phaleria maculata</i>	Blanco	LED	60 – 120 lux	Menor actividad nocturna	(Quintanilla-Ahumada et al., 2021)
Coccinellidae					
<i>Propylea japonica</i>				Altera el comportamiento reproductivo	(Wang et al., 2014b)
<i>Harmonia axyridis</i>	395 – 685	LED	600 – 2100 lux		(Wang et al., 2014a)
<i>Coccinella septempunctata</i>	Blanco (300 – 2500) y 340 – 689				(Jiuxuan et al., 2013)
<i>Henosepilachna vigintioctomaculata</i> (Motschulsky, 1857)	340 – 450, 504 – 689 y 300 – 2500	Halógeno	10 – 190 lux	Fototaxia positiva	(Jiuxuan et al., 2015)
Bothrideridae					
<i>Dastarcus helophoroides</i>	300 – 860	LED	1 – 600 lux	Fototaxia positiva	(Wang et al., 2021)
Curculionidae					
<i>Eucryptorrhynchus scrobiculatus</i>					
<i>Eucryptorrhynchus brandti</i>	Blanco y 400 – 660		1000 lux		(Wen et al., 2018)
<i>Xylosandrus crassiusculus</i>	Blanco, verde (525) y UV (395)				(Gorzlancyk et al., 2013)
<i>Sitophilus zeamais</i>	Rojo (625), blanco (465, 525, 600) y UV (410)	LED	-	Fototaxia positiva	(Marchioro y Faccoli, 2021)
<i>Euscepes postfasciatus</i>	Azul (470), verde (536), amarillo (592) y rojo (652)		0,25 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$		(Nakamoto y Kuba, 2004)
	UV		290,5 x 10 ¹⁵ $\mu\text{mol a 50 cm m}^{-2} \text{s}^{-1}$		(Katsuki et al., 2012)
<i>Sitophilus oryzae</i>	Rojo (660), verde (510) y azul (440)		25 – 100 lux		(Jeon et al., 2012)
Tenebrionidae					
<i>Tribolium castaneum</i>	Rojo (625) y UV (410) UV (390)	LED	-	Fototaxia positiva	(Marchioro y Faccoli, 2021) (Duehl et al., 2011)
Chrysomelidae					
<i>Podontia affinis</i>	379 – 521	LED	-		(Tay et al., 2021)
<i>Aulacophora foveicollis</i>	Blanco, azul y verde		351,2 – 736,8 lux	Fototaxia positiva	(Timothy et al., 2020)
	Blanco	Incandescente	1094,2 lux		
Melolonthidae					
<i>Exolontha castanea</i>	365 – 630	Lámpara de xeon de alta presión (HPXL)	10 – 300 lux	Fototaxia positiva	(Shang et al., 2022)
Anobiidae					
<i>Lasioderma serricorne</i>	UV, azul y blanco	LED	306,8 x 10 ¹⁵ – 1052 x 10 ¹⁵ $\frac{\text{fotones}}{\text{m}^2 \text{s}}$	Fototaxia positiva	(Katsuki et al., 2013)
Cerambycidae					
<i>Prioponplus reticularis</i>	Blanco	MH	4900 lm		(Pawson y Watt, 2009)
<i>Arhopalus ferus</i> (Mulsant, 1839)	Blanco, verde, rojo, amarillo y UV	Fluorescente	-	Fototaxia positiva	(Pawson et al., 2009)



Ptinidae					
<i>Lasioderma serricorne</i>	UV (375)		-		(Miyatake y Omae, 2014)
<i>Stegobium paniceum</i> (Linnaeus, 1758)	UV (377)	LED	$10^{12} - 4 \times 10^{16}$ fotones cm ² s	Fototaxia positiva	(Hironaka et al., 2017)
Staphylinidae					
<i>Paederus fuscipes</i>	Blanco	Fluorescente	≈ 1,206 lux	Fototaxia positiva	(Maryam et al., 2017)

La medición fue la luz incidente de varias fuentes de luz (*)

igual forma, las hembras aumentan su velocidad con mayor duración en sus pausas (Allema et al., 2012). Dificulta la alimentación nocturna de *Phaleria maculata* (Kulzer, 1959) (Coleoptera: Tenebrionidae) (Quintanilla-Ahumada et al., 2021). Larvas de estadio tardío de *Photuris* sp. excavan u ocultan (Owens y Lewis, 2021b). En cambio, las larvas de *Lamprigera* sp. (Coleoptera: Lampyridae) se quedan inmóviles (Mbugua, Wong y Ratnayake, 2020). La iluminación artificial reduce la actividad nocturna de *Chlaenius nigricornis* (Fabricius, 1787) (Coleoptera: Carabidae), *Limodromus longiventris* (Mannerheim, 1825) (Coleoptera: Carabidae) y *P. melanarius*. En menor medida a *Silpha tristis* (Illiger, 1798) (Coleoptera: Silphidae) y *Thanatophilus* sp. (Coleoptera: Silphidae) (Eccard et al., 2018).

Diversas especies tienen fototaxia positiva a la luz UV (tabla 1). Algunos tienen respuestas similares o mayores a otras longitudes de onda. Para *Xylosandrus crassiusculus* (Motschulsky, 1866) (Coleoptera: Curculionidae), *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire, 1849) (Coleoptera: Curculionidae) y *Podontia affinis* (Gröndal, 1808) (Coleoptera: Chrysomelidae) se puede optar por la luz verde (Nakamoto y Kuba, 2004; Gorzlanzyk et al., 2013; Tay et al., 2021). La luz roja también es atractiva para *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1855) (Coleoptera: Curculionidae), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae) y *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Coccinellidae) (Jiuxuan et al., 2013; Marchioro y Faccoli, 2021). La luz azul y blanca atraen más a *Aulacophora foveicollis* (Lucas, 1849) (Coleoptera: Chrysomelidae) (Timothy et al., 2020). Pawson y Watt (2009) capturaron más individuos de *Prionoplus reticularis* (White, 1843) (Coleoptera: Cerambycidae) con luz de haluro metálico (MH). Los fluorescentes blancos con alta iluminancia aumentaron la captura de *Paederus fuscipes* (Curtis, 1826) (Coleoptera: Staphylinidae) (Maryam et al., 2017). Caso similar fue para *Oryctes rhinoceros* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Scarabaeidae) con más individuos en trampas cerca al alumbrado público (Indriyanti et al., 2021).

Asimismo, se evidenciaron particularidades por especie. Para *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Ptinidae) la luz reflejada es más atractiva que la directa y la atracción puede variar según el sexo y estado de desarrollo del individuo (Katsuki et al., 2013; Miyatake y Omae, 2014). A medida que se aumenta la iluminancia por

luzes entre 365-420 nm, mayor es la atracción de *Exolontha castanea* (Zhang, 1965) (Coleoptera: Melolonthidae) y varía según el sexo (Shang et al., 2022). La fototaxia de *Eucryptorrhynchus scrobiculatus* (Motschulsky, 1854) (Coleoptera: Curculionidae) y *Eucryptorrhynchus brandti* (Harold, 1881) (Coleoptera: Curculionidae) varían según el sexo, tiempo sin alimento y tiempo de iluminación (Wen et al., 2018). Para *E. postfasciatus* la luz UV difusa es más efectiva (Katsuki et al., 2012). La luz azul con menor iluminancia es más atractiva para *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Curculionidae) (Jeon et al., 2012). *Dastarcus helophoroides* (Fairmaire, 1881) (Coleoptera: Bothrideridae) prefiere la luz infrarroja cercana de 700 nm y una iluminancia de siete luxes (Wang et al., 2021).

También afecta el apareamiento (tabla 1). En *L. noctiluca* y *P. pyralis* se reportó que la capacidad de los machos en localizar el destello de las hembras se reduce en mayor medida por la iluminancia (Bird y Parker, 2014; Firebaugh y Haynes, 2016; Elgert et al., 2020; Stewart et al., 2020; Van den Broeck et al., 2021b, 2021a). Owens y Lewis (2021a) evidenciaron un caso similar en *P. obscurellus*, con menor respuesta de las hembras a los destellos de los machos, aunque más notorio fue con luz ámbar brillante. En *H. axyridis* y *Propylea japonica* (Thunberg, 1781) (Coleoptera: Coccinellidae) evidenciaron que la duración y cantidad de cópulas, intervalo entre cópulas y tiempo de persecución varían según el fotoperiodo, la iluminancia y las longitudes de onda. Por ejemplo, la duración de cópulas disminuye a mayor iluminación (Wang et al., 2014a, 2014b).

Efectos a nivel poblacional

Afecta la mortalidad, el desarrollo y los nacimientos (tabla 2). En larvas de *A. ficta* evidenciaron mayor mortalidad debido a que la represión genética, causada por mayor iluminancia, afecta la absorción de alimentos y el desarrollo de la ecdisis (Chen et al., 2021). En *H. axyridis* y *P. japonica* la fertilidad y fecundidad varían conforme a las longitudes de onda, los fotoperiodos y la iluminancia. Por ejemplo, hay mayor fertilidad en luz verde y mayor fecundidad en luz amarilla (Wang et al., 2014a, 2014b). El desarrollo preadulto, ovoposición y fecundidad de *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius, 1781) (Coleoptera: Coccinellidae) y *Propylea dissecta* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae) varían conforme a las longitudes de onda. En general, la luz blanca aumenta

tales aspectos, aunque hay variaciones según el sexo (Omkar *et al.*, 2013). Evidenciaron mayor mortalidad de *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae) en trampas con luz blanca en un tiempo menor a comparación de otras longitudes de onda (Kehinde *et al.*, 2018).

La iluminación artificial reduce la densidad poblacional (tabla 2). *Photinus* sp. presentó menor ocurrencia cerca de luces deportivas (Hagen *et al.*, 2015). A mayor brillo de cielo nocturno, la abundancia de *P. maculata* disminuye (González *et al.*, 2014). A nivel paisaje, la presencia de *Chrysina argenteola* (H. Bates, 1888) (Coleoptera: Scarabaeidae) es menor en parches pequeños con mayor brillo de cielo nocturno (Camacho *et al.*, 2021). Para *Luciola italica* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Lampyridae) la urbanización aumenta los niveles de iluminancia en áreas verdes y, por lo tanto, reduce su presencia (Picchi *et al.*, 2013). En *Amydetes fastigiata* (Hoffmannsegg in Illiger, 1807) (Coleoptera: Lampyridae) reportaron que la contaminación lumínica incide sobre un tercio de su población en el bosque atlántico (Vaz *et al.*, 2021).

Efectos a nivel comunitario

La iluminación artificial forma gradientes y cambia la composición comunitaria (tabla 3). En la investigación de

Davies *et al.* (2012) los escarabajos abundaban debajo de los faroles entre estos. En el noreste de Brasil capturaron más *Paederus* spp. (Coleoptera: Staphylinidae) con luz UV. *Paederus protensus* (Sharp, 1876) (Coleoptera: Staphylinidae) fue la especie más abundante, en su mayoría machos (Lima *et al.*, 2015). Kaunath y Eccard (2022) reportaron en tres géneros que la población urbana de coleópteros es menos atraída por la luz que la población de una reserva de cielo oscuro. En un ecosistema ribereño aumentó la abundancia de coleópteros voladores. En los terrestres las familias taxonómicas Carabidae y Staphylinidae eran abundantes en la oscuridad, mientras que *Silpha* sp. (Coleoptera: Silphidae) fue abundante en el área iluminada (Manfrin *et al.*, 2017).

En una zona de cultivo, las luces HPS atrajeron más coleópteros de la familia Scolytidae (Martín *et al.*, 2021). En un pastizal, luego de dos años de introducir iluminación artificial, hubo mayor abundancia de *Pterostichus niger* (Letzner, 1852) (Coleoptera: Carabidae), *Rybaxis longicornis* (Leach, 1817) (Coleoptera: Staphylinidae) y *Acrotichis* spp. (Coleoptera: Ptiliidae) (Davies *et al.*, 2017). En la selva amazónica capturaron más coleópteros con luz blanca, a excepción de los elatéridos, que fueron más abundantes en luz ámbar (Deichmann *et al.*, 2021). En una zona boscosa capturaron más escarabeidos con luz azul (Komatsu *et al.*,

Tabla 2. Efectos a nivel poblacional generado por fuentes de luz artificial en el orden Coleoptera

Taxón	Color y/o Longitud de onda (nm)	Fuente de luz artificial	Medida fotométrica	Efecto	Referencia
Chrysomelidae					
<i>Callosobruchus maculatus</i>	Blanco, azul y rojo	Incandescente	-	Mayor mortalidad	(Kehinde <i>et al.</i> , 2018)
Lampyridae					
<i>Photuris</i> sp.			> 4,45 lux		(Hagen <i>et al.</i> , 2015)
<i>Luciola italica</i>	-	Variado*	> 0,25 lux	Menor densidad poblacional	(Picchi <i>et al.</i> , 2013)
<i>Amydetes fastigiata</i>			> 10 DN		(Vaz <i>et al.</i> , 2021)
<i>Aquatica ficta</i>	Blanco (446, 515, 629)	LED	≈ 10 ⁻⁵ lux	Mayor mortalidad de larvas	(Chen <i>et al.</i> , 2021)
Coccinellidae					
<i>Harmonia axyridis</i>					(Wang <i>et al.</i> , 2014a)
<i>Propylea japonica</i>	395 - 685	LED	600 - 2100 lux		(Wang <i>et al.</i> , 2014b)
<i>Cheilomenes sexmaculata</i>	Blanco, azul, amarillo y rojo	-	190 - 200 lux	Varia el desarrollo, fertilidad y fecundidad	(Omkar <i>et al.</i> , 2013)
<i>Propylea dissecta</i>					
Tenebrionidae					
<i>Phaleria maculata</i>	-	Variado*	17,3 - 21,37 $\frac{\text{mag}}{\text{arcsec}^2}$	Menor densidad poblacional	(González <i>et al.</i> , 2014)
Scarabaeidae					
<i>Chrysina argenteola</i>	-	Variado*	≈ 8 DN	Menor densidad poblacional	(Camacho <i>et al.</i> , 2021)

La medición fue la luz incidente de varias fuentes de luz (*)



2020). Alrededor de cuerpos de agua evidenciaron que la polarotaxis y fototaxia pueden actuar aditivamente como en *Berosus frontifoveatus* (Kuwert, 1888) (Coleoptera: Hydrophilidae), antagónicamente como en *Heterocerus* spp. o sinérgicamente como en la familia taxonómica Hydrophilidae (Boda et al., 2014; Robertson et al., 2017). Medeiros et al. (2017) identificaron que los coleópteros de las zonas urbanas varían entre diferentes tipos de luces por la cantidad de luz UV que emiten. Los MVL atraen más estafilínidos.

Las luces artificiales también afectan interacciones interespecíficas (tabla 3). Por ejemplo, favorece la tasa de depredación de *P. melanarius* y *C. septempunctata* hacia *Deroceras reticulatum* (O. F. Müller, 1774) (Stylommatophora: Agriolimacidae) y *Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776) (Hemiptera: Aphididae), respectivamente, debido al uso de señales visuales para

la depredación (Miller et al., 2017; Bennie et al., 2018). Es el mismo caso de *C. sexmaculata* y *P. dissecta* hacia *Aphis craccivora* (C.L. Koch, 1854) (Hemiptera: Aphididae) (Omkar et al., 2013). La luz blanca, azul y roja reducen el daño a las semillas de frijoles por la plaga *C. maculatus* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae) (Kehinde et al., 2018).

Gestión de la iluminación

En la conservación

En áreas protegidas se emplean estrategias como la reducción del espectro de emisión, la atenuación de fuentes artificiales que emiten espectros amplios y la programación temporal. Gestionar la iluminación según la zonificación de cada área protegida permite balancear el transporte y la seguridad del personal con la conservación

Tabla 3. Efectos a nivel comunitario generado por fuentes de luz artificial en el orden Coleóptera

Taxones	Color y/o longitud de onda (nm)	Fuente de luz artificial	Medida fotométrica	Efecto	Referencia
Carabidae	-		19,29 lux		(Davies et al., 2012)
Scolytidae		HPS	16,394 lm		(Martín et al., 2021)
Coleópteros voladores, Carabidae, Staphylinidae y <i>Silpha</i> sp.	Naranja		1 – 50 lux		(Manfrin et al., 2017)
<i>Pterostichus niger</i> , <i>Rybaxis longicornis</i> y <i>Acrotichis</i> spp.	Blanco		14,4 – 29,6 lux		(Davies et al., 2017)
Coleoptera y Elateridae	Blanco y ámbar	LED	-*		(Deichmann et al., 2021)
<i>Amara</i> , <i>Calathus</i> y <i>Harpalus</i>	Blanco		0,8 lux		(Kaunath y Eccard, 2022)
<i>Paederus</i> spp.	UV		-		(Lima et al., 2015)
<i>Scarabaeidae</i> , <i>Mimela testaceipes</i> , <i>Mimela costata</i> y <i>Anomala rufocuprea</i>	Azul (430, 450)	Fluorescente	5000 lm	Altera la composición de especies a nivel espacial como temporal	(Komatsu et al., 2020)
Coleópteros acuáticos y <i>Heterocerus</i> spp.	400 – 750				(Boda et al., 2014)
Staphylinidae, Ptiliidae, Ptinidae, Sphaeridiinae, Scolytinae, Scarabaeidae,	Blanco	MVL			
Cryptophagidae, Erotylidae, Latridiidae, Scolytinae, Silvanidae y Staphylinidae	Anaranjado	HPS			(Medeiros, et al. 2017)
Cryptophagidae		Vapor de sodio con filtro UV			
Hydrophilidae, Scarabidae, Carabidae	400 – 700		$\approx 1 \frac{\mu W}{cm^2 nm}$		(Robertson et al., 2017)
<i>Pterostichus melanarius</i>	Blanco	LED	10 – 15 lux		(Bennie et al., 2018)
<i>Coccinella septempunctata</i>	-		800 – 2000 $\frac{nW}{cm^2 s}$		(Miller et al., 2017)
<i>Callosobruchus maculatus</i>	Blanco, azul y rojo	Incandescente	-	Afecta interacciones interespecíficas	(Kehinde et al., 2018)
<i>Cheilomenes sexmaculata</i>	Blanco, azul, amarillo y rojo	-	190 – 200 lux		(Omkar et al., 2013)
<i>Propylea dissecta</i>					

La medición se realizó según un indicador de atracción (*)

de la biodiversidad (Jägerbrand y Bouroussis, 2021). También se puede integrar a los corredores de conservación usando mapas de gradiente de luz como un criterio para la conectividad y ubicación de zonas de conflicto (Sordello, 2017). Grecia, dentro de sus áreas protegidas que forma parte de la Red Europea Natura 2000, seleccionó al Parque Natural del Monte Parnon como parque de cielo oscuro y procedió a la medición e inventariado de iluminación (Papalambrou y Doulos, 2019).

A diferencia de otras fuentes de luz, el led es una buena opción para reducir la atracción de los coleópteros (Martín *et al.*, 2021). Sin embargo, debemos considerar otros aspectos. Owens y Lewis (2018) propusieron utilizar luces con longitudes de onda mayores a 597 nm para proteger a *A. ficta*. Davies *et al.* (2017) demostraron que la atenuación y el apagado temporal entre las 12:00 p. m. y las 4:00 a. m. de luces artificiales reducen la cantidad de taxones afectados. Para *L. nocticula* sugieren la atenuación o ausencia de luces artificiales en temporada de apareamiento (Van den Broeck *et al.*, 2021a). En un contexto de iluminación fuera de la red se recomienda los sensores de movimiento (Eccard *et al.*, 2018). Las áreas protegidas son un factor clave porque albergan poblaciones más sensibles a la luz (Kaunath y Eccard, 2022) y pueden proteger a las especies que aún no se adaptan al entorno urbano como *C. argenteola* y *L. italica* (Picchi *et al.*, 2013; Camacho *et al.*, 2021).

En otros ámbitos

Paederus (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Staphylinidae) es un género de relevancia médica por las especies que causan dermatitis linearis. Maryam *et al.* (2017) recomiendan atenuar las luces de las viviendas cercanas a los arrozales. La luz UV puede utilizarse para estudios de distribución de *Paederus* spp. (Lima *et al.*, 2015). Para el manejo de plagas, la fototaxia es el factor clave. Diversos estudios compararon la fototaxia con diferentes condiciones de iluminación y fisiológicas; por ejemplo, en *A. foveicollis*, *L. serricorne* y *D. helophoroides* (Pawson y Watt, 2009; Miyatake y Omae, 2014; Wang *et al.*, 2021). Indriyanti, Wijayanti y Setiati (2021) demostraron que la

combinación de estímulos olfativos y visuales mejoran las trampas para *O. rhinoceros*. Por otro lado, ciertas condiciones de iluminación favorecen a los controladores biológicos como *H. axyridis* y *C. septempunctata* (Wang *et al.*, 2014a; Miller *et al.*, 2017).

Conclusiones y sugerencias

Las investigaciones recopiladas evidencian que la iluminación artificial genera efectos que potencialmente pueden escalar a nivel ecosistémico, inclusive las condiciones de baja intensidad y longitudes de onda largas. Entre los efectos encontrados está la reducción de la efectividad de la bioluminiscencia o la orientación, alteración de la distribución poblacional y comunitaria. En casos particulares identificamos cambios genéticos, aumento de la mortalidad y alteración de la reproducción e interacciones interespecíficas. Dos aspectos que demanda mayor investigación son los efectos cascada de la iluminación artificial y la posible adaptación de las especies; sugerimos comenzar por las especies bioluminiscentes. Por último, recomendamos evaluar las medidas de mitigación anteriormente mencionadas, principalmente en áreas protegidas amenazadas por la expansión urbana.

Contribución de autoría

JChR se encargó del planteamiento del problema de investigación, el diseño de investigación, el procesamiento de la información, la discusión y las conclusiones, y la elaboración del artículo. JVH tuvo a cargo el planteamiento del problema de investigación, el diseño de investigación, la discusión y las conclusiones, y la elaboración del artículo. JI se encargó del planteamiento del problema de investigación, la discusión y las conclusiones, y la elaboración del artículo.

Fuente de financiamiento

Este trabajo fue autofinanciado.

Conflictos de interés

No hay potencial conflicto de interés.



Referencias bibliográficas

- Allema, A. B., Rossing, W. A. H., van der Werf, W., Heusinkveld, B. G., Bukovinszky, T., Steingröver, E. y van Lenteren, J. C. (2012). «Effect of light quality on movement of *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae)». *Journal of Applied Entomology*, 136(10), pp. 793-800. DOI: [10.1111/j.1439-0418.2012.01728.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2012.01728.x)
- Bennie, J., Davies, T. W., Cruse, D., Inger, R. y Gaston, K. J. (2018). «Artificial light at night causes top-down and bottom-up trophic effects on invertebrate populations». *Journal of Applied Ecology*, 55(6), pp. 2698-2706. DOI: [10.1111/1365-2664.13240](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13240)
- Bird, S. y Parker, J. (2014). «Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.) to locate females». *Journal of Insect Conservation*, 18(4), pp. 737-743. DOI: [10.1007/s10841-014-9664-2](https://doi.org/10.1007/s10841-014-9664-2)
- Boda, P., Horváth, G., Kriska, G., Blahó, M. y Csabai, Z. (2014). «Phototaxis and polarotaxis hand in hand: night dispersal flight of aquatic insects distracted synergistically by light intensity and reflection polarization». *Naturwissenschaften*, 101(5), pp. 385-395. DOI: [10.1007/s00114-014-1166-2](https://doi.org/10.1007/s00114-014-1166-2)
- Camacho, L. F., Barragán, G. y Espinosa, S. (2021). «Local ecological knowledge reveals combined landscape effects of light pollution, habitat loss, and fragmentation on insect populations». *Biological Conservation*, 262, 109311. DOI: [10.1016/j.biocon.2021.109311](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109311)
- Chen, Y.-R., Wei, W.-L., Tzeng, D. T. W., Owens, A. C. S., Tang, H.-C., Wu, C.-S., Lin, S.-S., Zhong, S. y Yang, E.-C. (2021). «Effects of artificial light at night (ALAN) on gene expression of *Aquaticus ficta* firefly larvae». *Environmental Pollution*, 281, 116944. DOI: [10.1016/j.envpol.2021.116944](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116944)
- Davies, T. W., Bennie, J., Cruse, D., Blumgart, D., Inger, R. y Gaston, K. J. (2017). «Multiple night-time light-emitting diode lighting strategies impact grassland invertebrate assemblages». *Global Change Biology*, 23(7), pp. 2641-2648. DOI: [10.1111/gcb.13615](https://doi.org/10.1111/gcb.13615)
- Davies, T. W., Bennie, J. y Gaston, K. J. (2012). «Street lighting changes the composition of invertebrate communities». *Biology Letters*, 8(5), pp. 764-767. DOI: [10.1098/rsbl.2012.0216](https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0216)
- Deichmann, J. L., Ampudia Gatty, C., Andía Navarro, J. M., Alonso, A., Linares-Palomino, R. y Longcore, T. (2021). «Reducing the blue spectrum of artificial light at night minimises insect attraction in a tropical lowland forest». *Insect Conservation and Diversity*, 14(2), pp. 247-259. DOI: [10.1111/icad.12479](https://doi.org/10.1111/icad.12479)
- Denyer, D. y Tranfield, D. (2009). «Producing a systematic review». En: D. A. Buchanan y A. Bryman (Eds.), *The Sage handbook of organizational research methods* (pp. 671-689). Thousand Oaks, CA: Sage Publications Ltd.
- Duehl, A. J., Cohnstaedt, L. W., Arbogast, R. T. y Teal, P. E. A. (2011). «Evaluating light attraction to increase trap efficiency for *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae)». *Journal of Economic Entomology*, 104(4), pp. 1430-1435. DOI: [10.1603/EC10458](https://doi.org/10.1603/EC10458)
- Eccard, J. A., Scheffler, I., Franke, S. y Hoffmann, J. (2018). «Off-grid: solar powered LED illumination impacts epigeal arthropods». *Insect Conservation and Diversity*, 11(6), pp. 600-607. DOI: [10.1111/icad.12303](https://doi.org/10.1111/icad.12303)
- El Jundi, B., Foster, J.J., Byrne, M. J., Baird, E. y Dacke, M. (2015). «Spectral information as an orientation cue in dung beetles». *Biology Letters*, 11(11), 20150656. DOI: [10.1098/rsbl.2015.0656](https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0656)
- Elgert, C., Hopkins, J., Kaitala, A. y Candolin, U. (2020). «Reproduction under light pollution: maladaptive response to spatial variation in artificial light in a glow-worm». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1931), 20200806. DOI: [10.1098/rspb.2020.0806](https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0806)
- Elgert, C., Lehtonen, T. K., Kaitala, A. y Candolin, U. (2021a). «Sexual selection for bright females prevails under light pollution». *Current Zoology*, 67(3), pp. 329-331. DOI: [10.1093/cz/zoaa071](https://doi.org/10.1093/cz/zoaa071)
- Elgert, C., Lehtonen, T. K., Kaitala, A. y Candolin, U. (2021b). «The duration of artificial light defines sexual signalling in the common glow-worm». *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 75(11), 154. DOI: [10.1007/s00265-021-03093-2](https://doi.org/10.1007/s00265-021-03093-2)
- Firebaugh, A. y Haynes, K. J. (2016). «Experimental tests of light-pollution impacts on nocturnal insect courtship and dispersal». *Oecologia*, 182(4), pp. 1203-1211. DOI: [10.1007/s00442-016-3723-1](https://doi.org/10.1007/s00442-016-3723-1)
- Firebaugh, A. y Haynes, K. J. (2019). «Light pollution may create demographic traps for nocturnal insects». *Basic and Applied Ecology*, 34, pp. 118-125. DOI: [10.1016/j.baae.2018.07.005](https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.07.005)
- Foster, J. J., Tocco, C., Smolka, J., Khaldy, L., Baird, E., Byrne, M. J., Nilsson, D.-E. y Dacke, M. (2021). «Light pollution forces a change in dung beetle orientation behavior». *Current Biology*, 31(17), pp. 3935-3942. DOI: [10.1016/j.cub.2021.06.038](https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.06.038)
- González, S. A., Yáñez-Navea, K. y Muñoz, M. (2014). «Effect of coastal urbanization on sandy beach coleoptera *Phaleria maculata* (Kulzer, 1959) in northern Chile». *Marine Pollution Bulletin*, 83(1), pp. 265-274. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2014.03.042](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.042)
- Gorzlancyk, A. M., Held, D. W., Kim, D.-J. y Ranger, C. M. (2013). «Capture of *Xylosandrus crassiusculus* and other Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae) in response to visual and volatile cues». *Florida Entomologist*, 96(3), pp. 1097-1101. DOI: [10.1653/024.096.0349](https://doi.org/10.1653/024.096.0349)
- Hagen, O., Santos, R. M., Schlindwein, M. N. y Viviani, V. R. (2015). «Artificial night lighting reduces firefly (Coleoptera: Lampyridae) occurrence in Sorocaba, Brazil». *Advances in Entomology*, 3(1), pp. 24-32. DOI: [10.4236/ae.2015.31004](https://doi.org/10.4236/ae.2015.31004)
- Haynes, K. J. y Robertson, B. A. (2021). «A transdisciplinary research agenda for understanding insect responses to ecological light pollution informed by evolutionary trap theory». *Current Opinion in Insect Science*, 45, pp. 91-96. DOI: [10.1016/j.cois.2021.02.004](https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.02.004)
- Hironaka, M., Kamura, T., Osada, M., Sasaki, R., Shinoda, K., Hariyama, T. y Miyatake, T. (2017). «Adults of *Lasioderma serricorne* and *Stegobium paniceum* (Anobiidae: Coleoptera) are attracted to ultraviolet (UV) over blue light LEDs». *Journal of Economic Entomology*, 110(4), pp. 1911-1915. DOI: [10.1093/jee/tox127](https://doi.org/10.1093/jee/tox127)
- Horváth, G., Kriska, G., Malik, P. y Robertson, B. (2009). «Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution». *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(6), pp. 317-325. DOI: [10.1890/080129](https://doi.org/10.1890/080129)
- Indriyanti, D.R., Wijayanti, D. y Setiati, N. (2021). «*Oryctes rhinoceros* attraction to pheromone traps placed near the light source at night». *The 7th International Conference on Mathematics, Science, and Education 2020 (ICMSE 2020)*. Semarang, 6 Octubre 2020. IOP Publishing, 052001. DOI: [10.1088/1742-6596/1918/5/052001](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/5/052001)
- Jägerbrand, A. K. y Bouroussis, C. A. (2021). «Ecological impact of artificial light at night: effective strategies and measures to deal with protected species and habitats». *Sustainability*, 13(11), 5991. DOI: [10.3390/su13115991](https://doi.org/10.3390/su13115991)
- Jeon, J.-H., Oh, M.-S., Cho, K.-S. y Lee, H.-S. (2012). «Phototactic response of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* Linnaeus (Coleoptera: Curculionidae), to light-emitting diodes». *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 55, pp. 35-39. DOI: [10.1007/s13765-012-0006-3](https://doi.org/10.1007/s13765-012-0006-3)
- Jiuxuan, Z., Rongping, K., Zhen, C., Siming, W. y Xia, L. (2013). «Phototactic behavior of *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae)». *The Coleopterists Bulletin*, 67(1), pp. 33-39. DOI: [10.1649/072.067.0108](https://doi.org/10.1649/072.067.0108)

- Jiuxuan, Z., Rui, X., Zhen, C., Yongchao, J. y Kaifan, X. (2015).** «Phototactic behavior of *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky (Coleoptera: Coccinellidae)». *The Coleopterists Bulletin*, 69(4), pp. 806-812. DOI: [10.1649/0010-065X-69.4.806](https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.4.806)
- Katsuki, M., Arikawa, K., Wakakuwa, M., Omae, Y., Okada, K., Sasaki, R., Shinoda, K. y Miyatake, T. (2013).** «Which wavelength does the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae), prefer? Electrophysiological and behavioral studies using light-emitting diodes (LEDs)». *Applied Entomology and Zoology*, 48, pp. 547-551. DOI: [10.1007/s13355-013-0205-3](https://doi.org/10.1007/s13355-013-0205-3)
- Katsuki, M., Omae, Y., Okada, K., Kamura, T., Matsuyama, T., Haraguchi, D., Kohama, T. y Miyatake, T. (2012).** «Ultraviolet light-emitting diode (UV LED) trap the West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Coleoptera: Curculionidae)». *Applied Entomology and Zoology*, 47(3), pp. 285-290. DOI: [10.1007/s13355-012-0113-y](https://doi.org/10.1007/s13355-012-0113-y)
- Kaunath, V. y Eccard, J. A. (2022).** «Light attraction in carabid beetles: comparison among animals from the inner city and a dark sky reserve». *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. DOI: [10.3389/fevo.2022.751288](https://doi.org/10.3389/fevo.2022.751288)
- Kehinde, F. O., Dedeke, G. A., Popoola, O.I. y Isibor, P. O. (2018).** «Potential of light spectra as a control of cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus*, activity». *8th International Biotechnology Conference, Exhibition and Workshop*. Nigeria, 11-13 Marzo. IOP Publishing, 012008. DOI: [10.1088/1755-1315/210/1/012008](https://doi.org/10.1088/1755-1315/210/1/012008)
- Kim, K.-N., Huang, Q.-Y. y Lei, C.-L. (2019).** «Advances in insect phototaxis and application to pest management: a review». *Pest Management Science*, 75(12), pp. 3135-3143. DOI: [10.1002/ps.5536](https://doi.org/10.1002/ps.5536)
- Komatsu, M., Kurihara, K., Saito, S., Domae, M., Masuya, N., Shimura, Y., Kajiyama, S., Kanda, Y., Sugizaki, K., Ebina, K., Ikeda, O., Moriwaki, Y., Atsumi, N., Abe, K., Maruyama, T., Watanabe, S. y Nishino, H. (2020).** «Management of flying insects on expressways through an academic-industrial collaboration: evaluation of the effect of light wavelengths and meteorological factors on insect attraction». *Zoological Letters*, 6, 15. DOI: [10.1186/s40851-020-00163-7](https://doi.org/10.1186/s40851-020-00163-7)
- Kyba, C. C. M., Kuester, T., De Miguel, A. S., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C. D., Gaston, K. J. y Guanter, L. (2017).** «Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent». *Science Advances*, 3(11), e1701528. DOI: [10.1126/sciadv.1701528](https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528)
- Lima, D. C. B., Costa, A. A. V. y Silva, F. S. (2015).** «Abundance and night hourly dispersal of the vesicating beetles of the genus *Paederus* (Coleoptera: Staphylinidae) attracted to fluorescent, incandescent, and black light sources in the Brazilian Savanna». *Journal of Medical Entomology*, 52(1), pp. 50-55. DOI: [10.1093/jme/tju006](https://doi.org/10.1093/jme/tju006)
- Longcore, T. y Rich, C. (2016).** *Artificial night lighting and protected lands: ecological effects and management approaches*. Fort Collins, Colorado: U.S. Department of the Interior National Park Service.
- Macgregor, C. J., Pocock, M. J. O., Fox, R. y Evans, D. M. (2019).** «Effects of street lighting technologies on the success and quality of pollination in a nocturnally pollinated plant». *Ecosphere*, 10(1), e02550. DOI: [10.1002/ecs2.2550](https://doi.org/10.1002/ecs2.2550)
- Manfrin, A., Singer, G., Larsen, S., Weiß, N., van Grunsven, R. H. A., Weiß, N.-S., Wohlfahrt, S., Monaghan, M. T. y Hölker, F. (2017).** «Artificial light at night affects organism flux across ecosystem boundaries and drives community structure in the recipient ecosystem». *Frontiers in Environmental Science*, 5, 61. DOI: [10.3389/fenvs.2017.00061](https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00061)
- Marchioro, M. y Faccoli, M. (2021).** «Improved light traps for early detection of insect pests of phytosanitary concern in shipping containers». *Journal of Economic Entomology*, 114(5), pp. 2060-2068. DOI: [10.1093/jee/toab150](https://doi.org/10.1093/jee/toab150)
- Martín, B., Pérez, H. y Ferrer, M. (2021).** «Light-emitting diodes (LED): a promising street light system to reduce the attraction to light of insects». *Diversity*, 13(2), 89. DOI: [10.3390/d13020089](https://doi.org/10.3390/d13020089)
- Maryam, S., Fadzly, N., Amirul, A.A.-A. y Zuharah, W.F. (2017).** «Attraction factors for *Paederus fuscipes* dispersal, a vector of *Paederus dermatitis* towards human residential premises». *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 59. DOI: [10.1590/S1678-9946201759004](https://doi.org/10.1590/S1678-9946201759004)
- Mbugua, S. W., Wong, C. H. y Ratnayake, S. (2020).** «Effects of artificial light on the larvae of the firefly *Lamprigera* sp. in an urban city park, Peninsular Malaysia». *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(1), pp. 82-85. DOI: [10.1016/j.aspen.2019.10.005](https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.10.005)
- Medeiros, B. A. S. de, Barghini, A. y Vanin, S. A. (2017).** «Streetlights attract a broad array of beetle species». *Revista Brasileira de Entomologia*, 61(1), pp. 74-79. DOI: [10.1016/j.rbe.2016.11.004](https://doi.org/10.1016/j.rbe.2016.11.004)
- Miller, C. R., Barton, B. T., Zhu, L., Radeloff, V. C., Oliver, K. M., Harmon, J. P. y Ives, A. R. (2017).** «Combined effects of night warming and light pollution on predator-prey interactions». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1864), 20171195. DOI: [10.1098/rspb.2017.1195](https://doi.org/10.1098/rspb.2017.1195)
- Miyatake, T. y Omae, Y. (2014).** «Cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) is attracted more to reflected than direct ultraviolet (UV) LED lights». *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 58(2), pp. 133-135. DOI: [10.1303/jjaez.2014.133](https://doi.org/10.1303/jjaez.2014.133)
- Mu, H., Li, X., Du, X., Huang, J., Su, W., Hu, T., Wen, Y., Yin, P., Han, Y. y Xue, F. (2021).** «Evaluation of light pollution in global protected areas from 1992 to 2018». *Remote Sensing*, 13(9), 1849. DOI: [10.3390/rs13091849](https://doi.org/10.3390/rs13091849)
- Nakamoto, Y. y Kuba, H. (2004).** «The effectiveness of a green light emitting diode (LED) trap at capturing the West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae) in a sweet potato field». *Applied Entomology and Zoology*, 39(3), pp. 491-495. DOI: [10.1303/aez.2004.491](https://doi.org/10.1303/aez.2004.491)
- Omkar, Mishra, G. y Singh, K. (2013).** «Effects of different wavelengths of light on the life attributes of two aphidophagous ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae)». *European Journal of Entomology*, 102, pp. 33-37. DOI: [10.14411/eje.2005.005](https://doi.org/10.14411/eje.2005.005)
- Owens, A. C. S. y Lewis, S. M. (2018).** «The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis». *Ecology and Evolution*, 8(22), pp. 11337-11358. DOI: [10.1002/ece3.4557](https://doi.org/10.1002/ece3.4557)
- Owens, A. C. S. y Lewis, S. M. (2021b).** «Effects of artificial light on growth, development, and dispersal of two North American fireflies (Coleoptera: Lampyridae)». *Journal of Insect Physiology*, 130, 104200. DOI: [10.1016/j.jinsphys.2021.104200](https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2021.104200)
- Owens, A. C. S. y Lewis, S. M. (2021a).** «Narrow-spectrum artificial light silences female fireflies (Coleoptera: Lampyridae)». *Insect Conservation and Diversity*, 14(2), pp. 199-210. DOI: [10.1111/icad.12487](https://doi.org/10.1111/icad.12487)
- Owens, A. C. S., Meyer-Rochow, V. B. y Yang, E.-C. (2018).** «Short- and mid-wavelength artificial light influences the flash signals of *Aquatica ficta* fireflies (Coleoptera: Lampyridae)». *PLOS ONE*, 13(2), e0191576. DOI: [10.1371/journal.pone.0191576](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191576)
- Papalambrou, A. y Doulos, L.T. (2019).** «Identifying, examining, and planning areas protected from light pollution. The case study of planning the first National Dark Sky Park in Greece». *Sustainability*, 11(21), 5963. DOI: [10.3390/su11215963](https://doi.org/10.3390/su11215963)
- Pawson, S. M. y Watt, M. S. (2009).** «An experimental test of a visual-based push-pull strategy for control of wood boring phytosanitary pests». *Agricultural and Forest Entomology*, 11(3), pp. 239-245. DOI: [10.1111/j.1461-9563.2009.00436.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00436.x)



- Pawson, S. M., Watt, M. S. y Brockerhoff, E. G. (2009).** «Using differential responses to light spectra as a monitoring and control tool for *Arhopalus fesus* (Coleoptera: Cerambycidae) and other exotic wood-boring pests». *Journal of Economic Entomology*, 102(1), pp. 79-85. DOI: [10.1603/029.102.0112](https://doi.org/10.1603/029.102.0112)
- Picchi, M. S., Avolio, L., Azzani, L., Brombin, O. y Camerini, G. (2013).** «Fireflies and land use in an urban landscape: the case of *Luciola italica* L. (Coleoptera: Lampyridae) in the city of Turin». *Journal of Insect Conservation*, 17(4), pp. 797-805. DOI: [10.1007/s10841-013-9562-z](https://doi.org/10.1007/s10841-013-9562-z)
- Quintanilla-Ahumada, D., Quijón, P. A., Pulgar, J., Manríquez, P. H., García-Huidobro, M. R. y Duarte, C. (2021).** «Exposure to artificial light at night (ALAN) alters RNA:DNA ratios in a sandy beach coleopteran insect». *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112132. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2021.112132](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112132)
- Robertson, B. A., Campbell, D.-R., Durovich, C., Hetterich, I., Les, J. y Horváth, G. (2017).** «The interface of ecological novelty and behavioral context in the formation of ecological traps». *Behavioral Ecology*, 28(4), pp. 1166-1175. DOI: [10.1093/beheco/axx081](https://doi.org/10.1093/beheco/axx081)
- Shang, X.-K., Pan, X.-H., Liu, W., Wei, J.-L., Huang, C.-H., Goebel, F.-R. y Nikpay, A. (2022).** «Effect of spectral sensitivity and light intensity response on the phototactic behavior of *Exolontha castanea* Chang (Coleoptera: Melolonthidae), a pest of sugarcane in China». *Agronomy*, 12(2), 481. DOI: [10.3390/agronomy12020481](https://doi.org/10.3390/agronomy12020481)
- Sharkey, C. R., Fujimoto, M. S., Lord, N. P., Shin, S., McKenna, D. D., Suvorov, A., Martin, G. J. y Bybee, S. M. (2017).** «Overcoming the loss of blue sensitivity through opsin duplication in the largest animal group, beetles». *Scientific Reports*, 7(1), 8. DOI: [10.1038/s41598-017-00061-7](https://doi.org/10.1038/s41598-017-00061-7)
- Smolka, J., Baird, E., El Jundi, B., Reber, T., Byrne, M. J. y Dacke, M. (2016).** «Night sky orientation with diurnal and nocturnal eyes: dim-light adaptations are critical when the moon is out of sight». *Animal Behaviour*, 111, pp. 127-146. DOI: [10.1016/j.anbehav.2015.10.005](https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2015.10.005)
- Sordello, R. (2017).** «Pistes méthodologiques pour prendre en compte la pollution lumineuse dans les réseaux écologiques». *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 17(3). DOI: [10.4000/vertigo.18730](https://doi.org/10.4000/vertigo.18730)
- Stewart, A. J. A., Perl, C. D. y Niven, J. E. (2020).** «Artificial lighting impairs mate attraction in a nocturnal capital breeder». *Journal of Experimental Biology*, 223(19), jeb229146. DOI: [10.1242/jeb.229146](https://doi.org/10.1242/jeb.229146)
- Tay, F. S., Chung, W. W. B., Then, Y. L., Dyg, N. A. Z. y Kashem, S. (2021).** «Study of LED radiation effects on insect phototaxis response for the development of light-based pest trap». *International Journal of Integrated Engineering*, 13(2), pp. 90-98. Disponible en: <https://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/6403>
- Teikari, P. (2007).** *LIGHT POLLUTION: Definition, legislation, measurement, modeling and environmental effects*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Timothy, C. A., Samiala, N. y Okrikata, E. (2020).** «Flight to light response of red pumpkin beetle (*Aulacophora africana* Weise) to differently coloured light-emitting diode and incandescent bulb lights». *Advanced Journal of Graduate Research*, 7(1), pp. 64-69. DOI: [10.21467/ajgr.7.1.64-69](https://doi.org/10.21467/ajgr.7.1.64-69)
- Valenzuela Zuccar, S. R. (2020).** *Efecto de la iluminación en el patrón respiratorio de reposo en *Astylus trifasciatus* (Guérin-Méneville, 1844) (Coleoptera: Melyridae): Una aproximación experimental al efecto de la contaminación lumínica en insectos*. Tesis de pregrado. Universidad de Chile.
- Van den Broeck, M., De Cock, R., Van Dongen, S. y Matthysen, E. (2021a).** «Blinded by the light: artificial light lowers mate attraction success in female glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.)». *Insects*, 12(8), 734. DOI: [10.3390/insects12080734](https://doi.org/10.3390/insects12080734)
- Van den Broeck, M., De Cock, R., Van Dongen, S. y Matthysen, E. (2021b).** «White LED light intensity, but not colour temperature, interferes with mate-finding by glow-worm (*Lampyrus noctiluca* L.) males». *Journal of Insect Conservation*, 25(2), pp. 339-347. DOI: [10.1007/s10841-021-00304-z](https://doi.org/10.1007/s10841-021-00304-z)
- Vaz, S., Manes, S., Gama-Maia, D., Silveira, L., Mattos, G., Paiva, P.C., Figueiredo, M. y Lorini, M.L. (2021).** «Light pollution is the fastest growing potential threat to firefly conservation in the Atlantic Forest hotspot». *Insect Conservation and Diversity*, 14(2), pp. 211-224. DOI: [10.1111/icad.12481](https://doi.org/10.1111/icad.12481)
- Wang, Q., Guo, Z., Zhang, J., Chen, Y., Zhou, J., Pan, Y. y Liu, X. (2021).** «Phototactic behavioral response of the ectoparasitoid beetle *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrideridae): evidence for attraction by near-infrared light». *Journal of Economic Entomology*, 114(4), pp. 1549-1556. DOI: [10.1093/jee/toab120](https://doi.org/10.1093/jee/toab120)
- Wang, S., Guo, X., Zhang, J. y Zhang, F. (2014a).** «Copulatory behavior of predacious ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) under different illuminative conditions». *Acta Ecologica Sinica*, 34(24), pp. 7428-7435. DOI: [10.5846/stxb201303210473](https://doi.org/10.5846/stxb201303210473)
- Wang, S., Wang, K., Michaud, J. P., Zhang, F. y Tan, X.-L. (2014b).** «Reproductive performance of *Propylea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae) under various light intensities, wavelengths and photoperiods». *European Journal of Entomology*, 111(3), pp. 341-347. DOI: [10.14411/eje.2014.053](https://doi.org/10.14411/eje.2014.053)
- Wen, C., Ji, Y.-C., Zhang, G.-Y., Tan, S.-B. y Wen, J.-B. (2018).** «Phototactic behaviour of *Eucryptorrhynchus scrobiculatus* and *E. brandti* (Coleoptera: Curculionidae) adults». *Biocontrol Science and Technology*, 28(6), pp. 544-561. DOI: [10.1080/09583157.2018.1464124](https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1464124)