

La luz artificial nocturna contribuye al declive de los insectos (3) Los efectos indirectos en las mariposas nocturnas

Rafael Yus Ramos
GENA-Ecologistas en Acción

En un capítulo anterior, sobre el impacto de la luz artificial nocturna sobre los insectos en áreas urbanas y no urbanas, resumíamos los estudios que se vienen desarrollando sobre los daños directos en las polillas o mariposas nocturnas, insectos de orden Lepidoptera comunes en el ambiente nocturno de las ciudades. Recuérdese que estos daños directos incluían la perturbación de la actividad (por la confusión que provoca la luz artificial con la luz del día), la fototaxia (atracción hacia la luz), la desorientación (al confundir la luz artificial con la luz celestial) y las consecuencias de la huida o evitación de la oscuridad (Boyes *et al.*, 2020) (Fig.1).

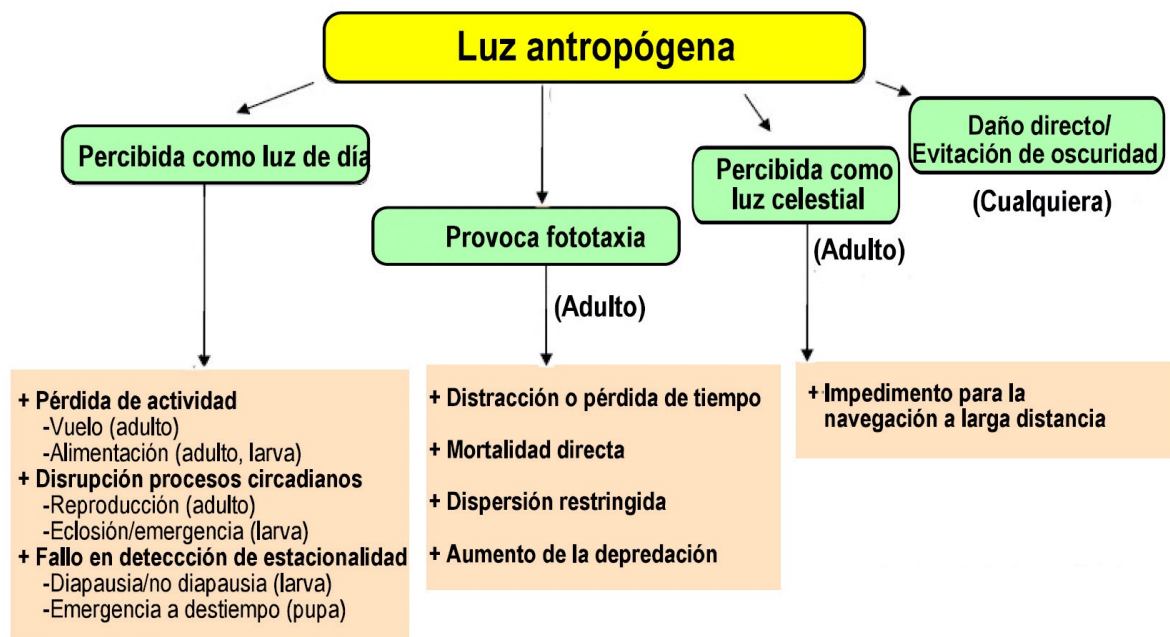


Fig.1. Efectos directos de la luz artificial nocturna sobre las polillas según modo de mecanismo

En este capítulo abordamos otro aspecto no menos importante, pero más desconocido, de esta problemática, los efectos **indirectos** del alumbrado público urbano y periurbano. Para ello debemos recordar que los seres vivos, sean de un grupo taxonómico u otro, en este caso las polillas, forman parte de redes tróficas más o menos complejas, en diferentes ecosistemas. Esto significa que las distintas especies están encadenadas, entre otras razones, por las necesidades tróficas, de alimentación, lo cual mantiene la vida de todo el conjunto de la red, pero también mantiene el equilibrio de las poblaciones. De este modo, cualquier alteración que afecte a uno o varios componentes de esta red, repercutirá positiva o negativamente en otros componentes de dicha red.

Efectos indirectos de la luz artificial nocturna en las polillas

Las polillas pueden verse indirectamente afectadas por la iluminación nocturna a través de plantas; esto podría ocurrir si la luz artificial modifica la cantidad y calidad de las plantas, o si ALAN crea un fenológico desajuste entre las polillas y las plantas de las que dependen. Es más probable que tales efectos actúen en la etapa larval, que depende completamente de las plantas huésped en la mayoría de los lepidópteros, aunque también se pueden observar efectos más débiles en especies con adultos

dependientes del néctar. Pueden ocurrir efectos indirectos de arriba hacia abajo a través de la depredación y el parasitismo, ya que la luz artificial puede concentrar presas y extender de manera efectiva los fotoperíodos, lo que podría beneficiar a los depredadores y parasitoides diurnos.

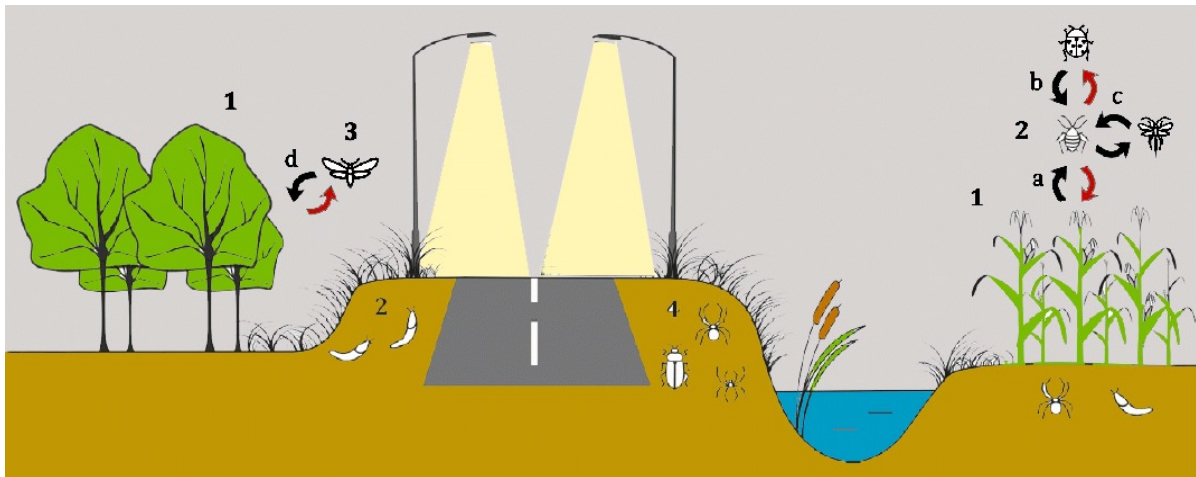


Fig.2. Vías a través de la que puede impactar la luz nocturna artificial en agrosistemas

De este modo, la iluminación de una carretera tiene efectos diversos sobre la biodiversidad de insectos de los agrosistemas circundantes (Fig.2): sobre los cultivos y árboles (1), las especies de plagas y sus enemigos naturales (2), de los polinizadores nocturnos (3) y sobre las comunidades de artrópodos del suelo, además de los efectos comportamentales y tróficos por la luz nocturna artificial, tales como efectos de arriba a abajo (depredación, parasitismo y herbivoría) como de abajo a arriba (por el crecimiento y fenología vegetal). Veamos a continuación lo que se ha comprobado que sucede con la alteración que provoca la luz artificial nocturna en las redes alimentarias en la ciudad, al alterar a las polillas, como parte de dichas redes alimentarias.

1.-Efectos de abajo a arriba por las plantas hospedadoras

La iluminación artificial nocturna puede afectar a las plantas a través de una variedad de mecanismos fisiológicos y ecológicos, aunque el tema ha recibido relativamente poca atención. En efecto, La luz artificial puede modificar la cantidad de **plantas hospedadoras** disponibles para herbívoros. Por ejemplo, los experimentos de mesocosmos han revelado efectos negativos de **abajo hacia arriba** en la abundancia de áfidos debido a biomasa vegetal reducida y/o floración bajo iluminación LED. La iluminación antropogénica también puede cambiar la calidad de las plantas hospedadoras. Por ejemplo, la relación carbono/nitrógeno en las plantas puede verse afectada por la iluminación, con efectos colaterales para los herbívoros que se nutren de ellas. Efectos indirectos sobre las larvas de polillas debido a que la ALAN altera la bioquímica de las plantas alimenticias haciéndolas incomedibles para los herbívoros usuales. Sin embargo, se han encontrado efectos negativos en el desarrollo con iluminación de HPS sobre orugas de algunas especies de polillas, parecen ser el resultado de que la planta huésped se hace físicamente más resistente, siendo por ello menos digerible, en condiciones de iluminación).

La iluminación exterior también puede alterar la fenología de las plantas, por ejemplo, causando brotación temprana en árboles de hoja caduca. Esto podría dar como resultado un desajuste fenológico s los óvulos de la polilla usan señales no fóticas (por ejemplo, temperatura) y, por lo tanto, eclosionan después de la brotación. En este momento, las hojas pueden ser demasiado ricas en fenoles y taninos para ser fácilmente digeridos por las orugas. La luz artificial puede alterar la fenología o incluso suprimir, la floración en algunas plantas. Esto podría afectar potencialmente a las larvas de polilla que consumen flores y semillas, además de crear un desajuste entre la fenología de los adultos visitantes de las flores

y su néctar.

2.-Efectos de arriba a abajo por parasitoides y depredadores.

Los **parasitoides** pueden ejercer fuertes efectos indirectos sobre las polillas, ya que estas típicamente causan la muerte del huésped (ya sea en el huevo, larva o estado de pupa). Se puede predecir que la iluminación nocturna afectará al comportamiento del parasitoide y a las poblaciones de diversas maneras. El potencial para la ALAN para causar tasas elevadas de parasitismo en insectos ya ha sido demostrado. En un experimento de campo, bajos niveles de iluminación LED (0, 1-5 lux) duplicaron la tasa de parasitismo de un pulgón, frente a controles apagados. Los autores planteaban la hipótesis que las avispitas parasitoides buscan presas predominantemente durante el día; por lo tanto, tienen capacidad de explotar el "nicho de luz nocturna" bajo luz artificial, ya que estos parasitoides muestran fototaxis positiva, de ahí que la densidad de iluminación favorece el parasitismo de estas avispitas, lo que supone un control de arriba a abajo de las polillas. Pero en otros casos sucede todo lo contrario, la iluminación nocturna puede suprimir el parasitismo, pues se ha comprobado que una luz LED brillante (10-100 lux) provoca una disminución del parasitismo de los pulgones, posiblemente porque estas avispitas parasitoides se acercan a las lámparas. De este modo, la iluminación nocturna continua puede interrumpir la clave procesos demográficos de los propios parasitoides (quizás a través de mecanismos similares a los descritos anteriormente para las polillas), haciendo que las densidades locales disminuyan. La iluminación también podría interrumpir la sincronización de la fenología de los parasitoides y sus huéspedes, si el fotoperíodo se usa como señal para la emergencia. Hasta la fecha, sólo se ha estudiado el efecto de la ALAN sobre los parasitoides, pero el efecto sobre los parasitoides de éstos (llamados hiperparasitoides) hace estos efectos indirectos aún más difíciles de predecir.

Otros efectos se producen en **vertebrados depredadores** de insectos. La depredación de polillas adultas por **murciélagos** se observa comúnmente en las luminarias urbanas. Algunas especies de murciélagos explotan las altas densidades de presas reunidas alrededor de lámparas. Además, las polillas pueden dejar de realizar sus comportamientos habituales contra la depredación (por ejemplo, maniobras evasivas) en áreas iluminadas, haciéndolas aún más susceptibles a la depredación. Las elevadas tasas de depredación de polillas por los murciélagos alrededor de las luminarias urbanas podrían agotar las poblaciones locales de polillas.

Las **aves** representan también importantes depredadores pero no solo de adultos, sino también de larvas, pese a que los efectos de luminarias urbanas no se ha investigado aún. Se sabe que la actividad de los pájaros cantores puede ser alterada por las luminarias, lo que daría como resultado un período más largo, adecuado para buscar alimento en áreas iluminadas. Al respecto, es sabido que las polillas adultas pueden ser muy vulnerables a la depredación de aves si se interrumpe su cripsis, al ser más visibles a los depredadores, lo cual puede suceder en las polillas expuestas a la luz artificial, que pueden no ser visibles por la noche, bajo condiciones de luz artificial, pero perdiendo su invisibilidad al llegar la luz del día, haciéndola más vulnerable a los depredadores. Si las trampas de luz se colocan con frecuencia en el mismo lugar, los pájaros cantores parecen aprender que estas producirá una alta densidad de presas en el suelo y vegetación circundante a la luz del amanecer. Aún así, se desconoce si este tipo de depredación de aves ocurre cuando la luz no está cerca del suelo, por ejemplo, alrededor de farolas (donde no hay superficies próximas para que se instalen las polillas).

La abundancia de **invertebrados depredadores** puede intensificarse alrededor de las luminarias urbanas. Por ejemplo, ciertas arañas construyen telas preferentemente cerca de la luz. fuentes, mientras que algunas especies diurnas de araña saltadora utilizan el "nicho de luz nocturna" cazando con lámparas por la noche. Se han observado también avispas sociales (especie *Vespula*) alimentándose de polillas

adultas atraídas por la luz. Sin embargo, un experimento de campo ha demostrado que las larvas de polilla vivas no sufren tasas más altas de depredación (predominantemente de hormigas, avispa y arañas) bajo las luces de la calle. La bibliografía sobre este tipo de interacciones está plagada de resultados contradictorios, que exigen profundizar en los potenciales factores que pueden alterar los resultados previsible hipotéticamente, como el grado de adaptación de las polillas y depredadores a las condiciones de la luz nocturna artificial.

Efectos sobre las poblaciones de plagas de polillas

El propósito de esta revisión es documentar los impactos en polillas de ALAN; sin embargo, es interesante notar que en ciertas circunstancias la luz se ha utilizado intencionalmente para suprimir las poblaciones de polillas. Los mecanismos y etapas de la vida involucrados no siempre son claros, pero pueden implicar la supresión de actividad adulta, o quizás interferencia con comportamientos específicos vinculado a daños en los cultivos (p. ej., oviposición). Estos esfuerzos de control típicamente han empleado iluminación brillante. El impacto de los niveles más bajos de ALAN (por ejemplo, análogos a la contaminación lumínica ecológica) aún no se han probado, pero se puede esperar que sean pequeños ya que la iluminación artificial directa de los cultivos no es actualmente una práctica común estrategia de control de plagas de insectos.

La iluminación de cultivos en campos y huertas ha sido reportada como un método para controlar plagas de polillas. En experimentos de campo, iluminación de campos de algodón con lámparas incandescentes (que producen 50 lux a la altura del cultivo) redujo la oviposición de *Heliothis* en un 85%. La iluminación de los huertos puede reducir significativamente el daño causado por las polillas adultas perforadoras de frutos y esto también puede limitar el daño larvario por *Cydia pomonella*. Si bien tales ensayos a menudo han sido efectivos en reducir el daño a los cultivos, han utilizado altas intensidades de luz y el gasto de energía asociado típicamente supera cualquier beneficio producido. Ante el deseo de reducir los pesticidas el uso y la eficiencia de los LED podrían hacer que la iluminación constante de cultivos representa una opción más viable en el futuro. Pero esto se contradice con otros estudios en los que se pone de manifiesto que la iluminación exterior podría aumentar los brotes de plagas de *Grapholita molesta*, ya que esta especie lleva a cabo comportamientos reproductivos clave entre 3 y 500 lux. Las trampas de luz letal se han rastreado como método para controlar directamente las poblaciones, con un éxito mixto. A menos que una alta densidad de trampas se despliegue sobre un área grande, la trampa de luz letal solo cabría esperar que tuviera un impacto apreciable en las poblaciones de las especies menos móviles.

Efectos en cascada y alteración de la función ecosistémica

Los impactos potenciales de la ALAN en las poblaciones de polillas podrían repercutir en otros taxones con los que las polillas están estrechamente relacionadas. En las polillas, el cambio de nicho ontogenético, con larvas herbívoras (antagonistas) convirtiéndose en adultos polinizadores (mutualistas), podría tener consecuencias importantes para predicción de los efectos indirectos de la ALAN en la comunidad vegetal dinámica. Una tercera posición fundamental ocupado por polillas dentro de las redes ecológicas es presa de los depredadores y parasitoides. A pesar del potencial significativo de efectos en cascada de las polillas debido a la contaminación lumínica, pocos estudios de campo han investigado este asunto, con la mayoría centrándose más en la polinización. La presencia de farolas HPS en los márgenes de cultivos se ha relacionado con tasas más bajas de transporte de polen en las polillas. Un experimento de campo con lámparas LED encontró que la iluminación redujo las visitas nocturnas, con menos especies, y éxito de polinización se redujo, en comparación con los controles en plena oscuridad. Esto proporciona evidencia de que el comportamiento trófico de la polilla puede verse afectado por la

iluminación, lo cual contradice el resultado de otro estudio en el que, bajo iluminación LED se producía un aumento de semillas, lo que indica que favorecía la polinización, hecho que nos lleva, una vez más, a la conclusión de que la aptitud de la polinización bajo la ALAN puede ser específica del contexto. Por otra parte, se ha sugerido que las polillas más grandes pueden ser más sensibles a la contaminación lumínica, ya que tienden a ser más fuertemente atraídos por luz, probablemente debido al tamaño más grande de los ojos y también quizás porque son más móviles (y por lo tanto más probabilidades de entrar en contacto con la iluminación). Esto podría conducir a impactos desproporcionados en el funcionamiento del ecosistema cuanto mayor sea el tamaño de las polillas.

Potencial de adaptación en respuesta a cambios de la luz antropogénica.

Los cambios en los niveles de luz en el ambiente han debido ser un factor selectivo determinante en la evolución de las especies de las polillas. Los cambios a corto plazo en la composición de las feromonas y el comportamiento de apareamiento de las polillas debido a la luz artificial plantean distintas posibilidades de selección divergente, y potencialmente de especiación, en polillas, como consecuencia directa de la luz artificial en la noche. Por ejemplo, si la iluminación exterior actúa como una barrera de dispersión, esto puede causar una fragmentación efectiva de la población, acelerando aumentar las tasas de evolución.

El descubrimiento de que una especie de micropolilla parece tener una fototaxis reducida, aparecida por evolución en ciertas áreas urbanas, es la primera evidencia de que las polillas se han adaptado evolutivamente a la luz antropogénica. En teoría, este resultado también podría significar que las tendencias de las trampas de luz en áreas urbanas no son fiables, ya que los tamaños de población no guardan correspondencia con las capturas de trampas de luz. Por este motivo, es preciso investigar más para determinar si la adaptación evolutiva a la luz artificial nocturna también ha ocurrido en polillas de otras regiones geográficas, y en otras familias taxonómicas. Los rápidos cambios en las tecnologías de iluminación (por ejemplo, cambiar de lámparas de espectro estrecho a lámparas de amplio espectro) podrían significar que los insectos que han tenido éxito en la adaptación a un tipo de iluminación no estarían adaptados a otros tipos de iluminación.

Se conocen precedentes de esta evolución en el mundo natural. Por ejemplo, los insectos en el Ártico no experimentan grandes ciclos en la intensidad de la luz y la temperatura suele controlar la actividad diaria. Especies de polillas que son nocturnas en Dinamarca son capaces de persistir con éxito en Groenlandia, donde parecen haberse aclimatado a las condiciones fóticas radicalmente diferentes. El proceso de la aclimatación y/o adaptación involucrada no está clara, ni es conocido con qué rapidez los insectos pueden responder a regímenes fóticos alterados, pero estos resultados sugieren que algunas polillas nocturnas que son de latitudes más bajas puede sobrevivir en ausencia de noches oscuras.

Mitigación de los efectos disruptivos de las luminarias urbanas

Ante estos indicios de ecocidio sobre los insectos nocturnos en particular, y dada su vinculación ecológica, sobre muchos otros seres vivos de la noche, encontrar formas de mitigar los impactos ecológicos de la ALAN es un desafío interdisciplinar. La iluminación artificial nocturna lleva numerosos beneficios sociales, como la prevención de colisiones de tráfico, reducir el crimen y el aumento de la seguridad pública percibida, en particular para los grupos marginados. En el lado contrario, las preocupaciones sobre los impactos de la contaminación lumínica en la astronomía y la salud humana, conducen a la consideración de que una reducción de la contaminación lumínica tiene el potencial para ofrecer un beneficio mutuo tanto para la biodiversidad como para las personas.

Se ha recomendado una serie de medidas de mitigación para los iluminación, muchas de las cuales son relativamente fáciles de implementar, como apagar o atenuar las luces durante parte de la noche y agregar blindaje a las luces de la calle para restringir el área iluminada. Generalmente se piensa que la iluminación de espectro más amplio (por ejemplo, LED) tiene el potencial de mayores impactos ecológicos que la iluminación de espectro reducido (por ejemplo, LPS), ya que la gama más amplia de longitudes de onda emitidas puede afectar una mayor variedad de taxones y procesos. Pero la demostrada eficiencia energética de LED hace poco probable que las tecnologías de lámparas más antiguas y menos eficientes se impongan, por lo que la única salida razonable consistiría en ajustar la composición espectral de los LED para reducir la intensidad de las longitudes de onda biológicamente más disruptivas, manteniendo así los beneficios que tienen para las personas. Mientras que no se ha detectado ninguna diferencia en el número de polillas atraídas con luces LED de diferentes perfiles espectrales, se ha demostrado que longitudes de onda más largas (LED rojo) mitigan parcialmente los impactos negativos en los comportamientos biológicamente claves de las polillas.

Comprender qué longitudes de onda de luz son sensibles para las polillas puede ser crucial para diseñar estrategias de mitigación exitosas. Los ojos de las polillas nocturnas suelen tener tres máximos en sus sensibilidades; por ejemplo, la mariposa colibrí (*Deilephila elpenor*), tiene fotorreceptores con sensibilidades máximas en el ultravioleta (350 nm), regiones violeta (440 nm) y verde (525 nm). Estas sensibilidades visuales se han comparado con diversas emisiones espectrales para predecir los impactos ecológicos de diferentes tecnologías de alumbrado público. Sin embargo, las polillas adultas también poseen fotorreceptores extraoculares, incluso en el cerebro y los órganos reproductivos. La percepción del fotoperíodo parece depender de los receptores extraoculares en algunas polillas adultas. Los experimentos de trasplante han revelado que los fotorreceptores en el cerebro son responsables de la regulación de la diapausa en las larvas de polilla halcón y polilla de seda, y se cree que las longitudes de onda de luz roja son las más importantes para la regulación de la diapausa. Así, la interrupción de ciertos procesos biológicos (por ejemplo, los relacionados con el ritmo circadiano) por la luz artificial no corresponderá necesariamente a la sensibilidad visual de las polillas y longitudes de onda de la luz a las que las polillas son visualmente insensibles todavía podría ser perjudicial.

Para mitigar los efectos de las luminarias urbanas sobre las poblaciones de polillas, es preciso esclarecer los mecanismos por los cuales la iluminación podría perturbarlas. También es probable que las poblaciones de polillas sean importantes para diseñar medidas de mitigación efectivas. Por ejemplo, si los efectos negativos ocurren cuando las polillas perciben incorrectamente fotoperíodos más largos en áreas iluminadas, una solución sería apagar las lámparas durante la noche, pero sería igualmente dañino, ya que el fotoperíodo percibido permanece extendido artificialmente. Por el contrario, si el comportamiento adulto interrumpido alrededor de las lámparas es un factor importante, entonces la iluminación de media noche podría ser eficaz para permitir que los comportamientos clave progresen algo en la noche. Esto puede ser específico de un taxón, ya que diferentes especies vuelan en diferentes momentos de la noche, con grupos crepusculares (p. ej., Hepialidae, Sphingidae) que potencialmente reciben poco beneficio, en comparación con las especies que vuelan más tarde en la noche. Todo ello muestra la complejidad de arbitrar medidas que sean inocuas para toda la biodiversidad noctámbula de las zonas urbanas y periurbanas.

Conclusiones

En esta serie de artículos hemos querido transmitir el estado actual de los conocimientos científicos acerca del impacto que están produciendo las luminarias nocturnas de áreas urbanas y periurbanas, sobre las poblaciones de polillas, uno de los insectos más comunes y significativos en la biodiversidad nocturna. Hemos mostrado numerosos experimentos que ponen de relieve que este daño

es muy serio, no sólo a los adultos, sino también a las larvas y afectando a gran parte de las funciones biológicas que aseguran la perpetuación de estas especies, lo cual tiene repercusiones ecológicas que afectan a gran parte de la biodiversidad urbana (Fig.2). Los estudios demuestran que la contaminación lumínica está ejerciendo efectos negativos a nivel de población. Creemos que algunos estudios han atribuido prematuramente la disminución de insectos a la luz artificial nocturna o ALAN, aunque no hay todavía suficientes estudios que muestren toda la envergadura de esta problemática, siendo desconocidos o poco conocidos los potenciales efectos en funciones biológicas clave y sobre todo, faltan estudios que muestren los impactos que provocan estos efectos específicos sobre el funcionamiento de los ecosistemas de los que forman parte.

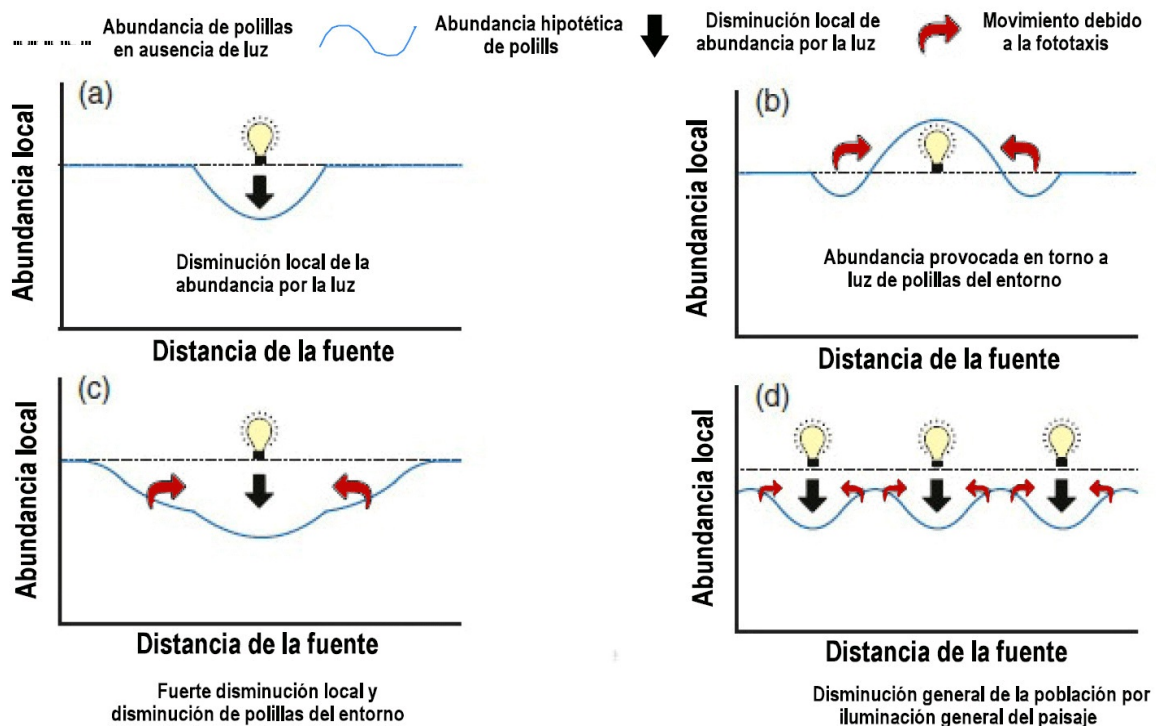


Fig.3. Relaciones hipotéticas entre la abundancia local de polillas y la distancia desde la fuente de luz

Examinados los efectos directos en un artículo anterior, en este artículo nos hemos centrado en los, menos conocidos, efectos indirectos. En la Fig.3 se resumen las relaciones hipotéticas entre la abundancia local de polillas y la distancia desde una fuente de luz, reflejando cuatro casos de efectos progresivos a nivel de población:

- a.- Disminución local de la abundancia debido a la fuente de luz (efecto insignificante a nivel de población).
- b.- Efecto de concentración, donde la abundancia aumenta alrededor de la fuente de luz debido a que las polillas fueron atraídas desde las áreas circundantes, donde en consecuencia, se produce una ligera disminución (sin efecto a nivel de la población).
- c.- Fuerte disminución local, combinada con la extracción de polillas de las áreas circundantes (efecto moderado a nivel de población).
- d.- Una gran proporción del paisaje está iluminado directamente, provocando fuertes efectos de concentración, causando una disminución a nivel de población general (alto efecto a nivel de población).

Sin embargo, los estudios todavía son escasos y hay muchas lagunas en nuestro conocimiento sobre el potencial ecocidio sobre estos insectos. Ante esta situación sólo queda invocar el **principio de**

precaución y enfatizamos la necesidad de más investigación sobre este tema. Es crucial la necesidad de considerar los efectos de la luz en la contaminación en el contexto de otros impulsores del cambio ambiental de estos mismos entornos urbanos y periurbanos, como la intensificación agrícola y el cambio climático. Todo esto hace que la contaminación lumínica represente una gran amenaza, o, al contrario pudiera ser que su contribución fuera efectivamente insignificante cuando se coloca en el contexto de otros impulsores antropogénicos. Son incógnitas dignas de ser estudiadas en profundidad.

Es posible que la tecnología pueda dar una solución al dilema que plantea la necesidad antrópica de una iluminación nocturna y, la no menos importante, necesidad de mantener el equilibrio en las redes tróficas naturales de áreas urbanas y periurbanas, donde insectos como las polillas tienen una importante presencia. A lo largo de la historia, la iluminación con vapor de mercurio provocó la respuesta fototáctica más fuerte en las polillas y se usaba comúnmente en el Reino Unido a mediados del siglo XX, antes de ser reemplazada por farolas de sodio. Se creía que las polillas son, en gran medida, insensibles a las lámparas de sodio a baja presión, pero posiblemente tuvo impactos negativos en su evolución a las lámparas de sodio a alta presión. Es probable que el paso de la iluminación de sodio a LED haya tenido un efecto mínimo, o incluso positivo, en las polillas. Sin embargo, no estamos convencidos de que el atractivo de una fuente de luz sirva como un indicador adecuado del impacto ecológico, dadas las muchas formas en que la luz antropogénica que pueden afectar a las polillas (Fig.1) y advierten contra las recomendaciones de políticas de alumbrado, a partir de datos que solo examinan un impacto limitado, y frecuentemente en una sola etapa de la vida. Desgraciadamente, el asunto es muchísimo más complejo, donde intervienen muchas más variables (lo que suele conocerse como “contexto”), y del que sólo disponemos de un pequeño puñado de estudios.

Puede ser valioso agrupar los efectos de ALAN dentro de un marco mecanicista. Para las polillas, los impactos de ALAN se pueden clasificar en términos generales en cuatro modos de acción: luz percibida como luz diurna, luz que provoca fototaxis, luz que interfiere con señales celestiales y luz que causa daño directo o evita la reparación oscura (Fig. 1). Consideramos que los dos primeros modos de acción son los que tienen el mayor potencial de daño a las polillas.

Es importante considerar la escala en la que operan los mecanismos discutidos anteriormente. La proporción del paisaje que está directamente iluminados por luz antropogénica suele ser relativamente pequeña. Mientras que el resplandor del cielo difuso cubre un área mucho mayor, actualmente no hay evidencia de que niveles tan bajos de la luz afecten a las polillas. Si la iluminación directa ejerce fuertes efectos locales negativos sobre las polillas, esto aún podría ser insignificante a nivel de población (Fig.3a), a menos que:

- (I) una alta proporción de el paisaje está directamente iluminado (Fig. 3d);
- (II) las polillas son atraídas desde un amplio radio, agotando las poblaciones circundantes (Fig. 3c;3);
- (III) una especie tiene dispersión limitada.

Si bien las polillas han sido el centro de atención de estos estudios, hay evidencias de que estos mismos hallazgos y conclusiones sean ampliamente aplicables a la mayoría de los otros grupos de insectos. Es importante destacar que dado que la mayoría de los mecanismos discutidos anteriormente no involucran fototaxis de adultos, existe la posibilidad de que los insectos diurnos (es decir, aquellos activos durante el día en su etapa adulta, como las mariposas) se vean afectados negativamente por la contaminación lumínica, por ejemplo, a través de la interrupción del ritmo circadiano, o a través de una etapa larval nocturna.