

La problemática ambiental de la contaminación lumínica: una revisión



The environmental problems of light pollution: a review

Rueda_Punina, Víctor John

 Víctor John Rueda_Punina

vrueda@ups.edu.ec

Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN: 1390-7042

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 14, núm. 2, 2022

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 04 Abril 2022

Aprobación: 08 Julio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/624/6243122009/>

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v14i2.3733>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Cómo citar: Rueda-Punina, V. J. (2022). La problemática ambiental de la contaminación lumínica: una revisión. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 14(2), 111–123. <https://doi.org/10.29166/revfig.v14i2.3733>

Resumen: La polución lumínica, catalogada como un tipo de degradación ambiental ha sido poco o nada estudiada en Ecuador, pero por el contrario, a nivel internacional ha contado con un amplio análisis, evidenciando sus efectos sobre la astronomía, energía, economía y seres humanos, pero también y principalmente sobre la naturaleza, encontrando como principal responsable a la luz artificial nocturna (ALAN) en todas sus presentaciones. El presente artículo empieza con una breve revisión de la teoría relacionada a contaminación lumínica. Después se presentan los resultados de las investigaciones científicas realizadas en la última década (2012 – 2022) sobre los efectos de esta problemática en la flora y fauna existente a nivel internacional. Se presenta también una recopilación de las investigaciones llevadas a cabo a nivel nacional. Gracias a esto, se conoció los serios problemas que afronta la flora y fauna existente, debido a la interferencia directa o indirecta de ALAN en los procesos naturales de desarrollo, movimiento, reproducción, depredación y alimentación en diferentes especies de fauna y flora, encontrando, dentro del primer grupo, a los insectos y aves como los más afectados y estudiados. A nivel nacional, apenas 4 son los estudiados que han tratado de abordar esta problemática, mismos que han sido enfocados en insectos y mamíferos dentro de la fauna, pero han sido inexistentes los estudios en la flora. Existe un gran nicho de estudio para la academia, sector público y privado del país, cuyos resultados permitirían proponer la creación de políticas y normas específicas para este tipo de degradación ambiental. Se invita a las áreas antes mencionadas, a impulsar estudios interdisciplinarios que permitan conocer los efectos que ALAN esté provocando en la flora y fauna.

Palabras clave: ALAN, polución lumínica, contaminación ambiental, brillo del cielo, perturbación antropogénica, ecología urbana.

Abstract: Light pollution, catalogued as a type of environmental degradation, has been little or no studied in Ecuador, but at international scale it has been amply discussed, evidencing its effects on astronomy, energy, economy and human beings, but also and mainly on nature, finding artificial light at night (ALAN) in all its presentations as the main responsible. This article begins with a brief review of the theory related to light pollution. It then presents the results of scientific research carried out in the last decade (2012 - 2022) on the effects of

this problem on the existing flora and fauna at the international scale. A compilation of the research carried out at the national scale is also presented. As a result, the serious problems faced by the existing flora and fauna due to the direct or indirect interference of ALAN in the natural processes of development, motion, reproduction, predation and feeding in different species of fauna and flora are known, finding, within the first group, insects and birds as the most affected and studied. At the national scale, only 4 studies have tried to approach this problem, focusing on insects and mammals within the fauna, but studies on the flora have been nonexistent. There is a great niche of study for the academy, public and private sectors of the country, whose results would allow proposing the creation of specific politics and norms for this type of environmental degradation. The departments mentioned above are invited to promote interdisciplinary studies to learn about the effects that ALAN is having on flora and fauna.

Keywords: ALAN, light pollution, environmental contamination, sky brightness, anthropogenic disturbance, urban ecology.

INTRODUCCIÓN

La industrialización y el crecimiento poblacional ha traído consigo la degradación del ambiente en sus diferentes componentes, en los que el impacto negativo en muchos de los casos es evidente, como los estudiados en el agua, aire y suelo, pero existen así mismo, algunos que no son tan evidentes o conocidos, uno de estos es la contaminación del cielo oscuro mediante la polución lumínica (González-Madrigal, Solano-Lamphar y Ramírez, 2020).

El principal responsable de este problema es el uso desmedido de la luz artificial nocturna (ALAN), misma que se ha incrementado durante las últimas décadas en aproximadamente un 6% por año (Hölker et al., 2010) e incluso se han hecho estimaciones en las que el resplandor del cielo puede generar una iluminación nocturna hasta mil veces superior a la experimentada por las especies durante su historia evolutiva (Kyba et al., 2015).

Lo antes expuesto brinda para la academia la oportunidad de conocer y abordar esta problemática en el país, por lo que se considera importante revisar los hallazgos científicos encontrados sobre los efectos de ALAN en la biodiversidad mundial y nacional, considerando que Ecuador ha sido catalogado como un país mega diverso. El objetivo de esta investigación es recoger las evidencias científicas de los últimos 10 años sobre los impactos que ALAN ha tenido, tiene o tendrá en la flora y fauna existente en el planeta.

Esta evidencia servirá de experiencia y herramienta de apoyo para impulsar lineamientos, políticas y controles sobre el uso de luz artificial nocturna y así darle atención a esta problemática que ya ocasiona, según el Atlas Mundial de Contaminación Lumínica, que en el Ecuador, el 95% de la población – 50% del territorio nacional – se encuentren bajo un cielo contaminado y sólo un 0,4% de la población – 17% del territorio nacional – disfrute de un cielo prístino (Falchi et al., 2016).

METODOLOGÍA

Este trabajo es de alcance exploratorio y pretende poner de manifiesto la problemática de este tipo de contaminación, poco visible, sobre la naturaleza existente, brindando así soporte a un nuevo campo de

investigación en el Ecuador, ya que actualmente en el país son muy contados los estudios sobre contaminación lumínica que sirvan de referencia.

En una primera parte, se realiza un análisis teórico sobre contaminación lumínica, exponiendo principalmente, las formas en las que se manifiesta. Para conocer a detalle las consecuencias en el ámbito ambiental de la iluminación artificial como fuente de contaminación, se realizó una revisión documental exhaustiva de estudios científicos que permitan conocer los impactos negativos en esta área, durante la última década. Se tendrá un apartado con la recopilación de estudios efectuados en el país.

A continuación, se desarrolló una matriz FODA para conocer las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas existentes de esta problemática en el Ecuador. Finalmente, se realizó un análisis de los datos obtenidos para generar las respectivas conclusiones y recomendaciones.

Contaminación Lumínica

A partir del año 1879, año en el que Thomas Alva Edison inventó la primera bombilla, ha ido en aumento la irrupción de la luz en espacios y áreas en los que históricamente ha predominado la oscuridad, producto de la fuga de luz de las zonas urbanas hacia el cielo, generando un aumento en el brillo natural del cielo nocturno (Cubas y Puerta, 2020), pero incluso las pequeñas localidades se pueden transformar en fuentes de contaminación lumínica cuando demanden mayores cantidades de iluminación. Es así que, se puede definir a esta problemática como el uso inapropiado o excesivo de la luz artificial durante la noche (International Dark-Sky Association, s.f.). Esta problemática, de alcance mundial, se presenta de diferentes formas, entre ellas, destacan el resplandor luminoso (sky glow), la intrusión lumínica y el deslumbramiento.

Sky glow

Denominado comúnmente como brillo del cielo, se produce de forma natural como de forma antropogénica, en la que esta última es la causante de la contaminación lumínica (Meléndez Rúa, 2015). Este fenómeno se produce cuando los rayos de luz interactúan con las partículas del aire y son desviados en todas las direcciones, haciendo más intenso cuando existen partículas contaminantes en el aire, que de hecho estarán ampliamente presentes en el aire de las urbes (García y Moreno, 2016).

Esta forma de contaminación lumínica en condiciones de ausencia de barreras de luz, puede propagarse largas distancias que superan los 200 km (Meléndez Rúa, 2015), formando además el conocido halo de luz que hace visibles a las ciudades, como en el caso de Madrid, cuyo halo luminoso se eleva a 20 km o el de Barcelona que es visible a 300 km de distancia (García y Moreno, 2016).

Intrusión lumínica

La luz intrusa es aquella generada de manera artificial que ingresa a las viviendas a través de las ventanas (González Dorta, 2014), esto suceder por proyección directa, por reflexión de la luz en superficies o por resplandor lumínico ocasionando trastornos en las actividades y conducta humana (Meléndez Rúa, 2015). Esta forma de contaminación lumínica, cuando es analizada en una escala local, se convierte en la forma de contaminación lumínica más relevante junto al deslumbramiento, haciéndose necesarios mayor control y atención (García y Moreno, 2016).

Deslumbramiento

Corresponde a la proyección normal o directa de la luz artificial sobre el ojo de los seres vivos (Carvajal, Benítez y Angulo, 2014), del cual existen dos tipos, el perturbador que provoca una percepción borrosa sin nitidez de los objetos y el molesto causado por luz intensa que produce fatiga visual (Meléndez Rúa, 2015). Precursores de esta forma de contaminación son los coches, las grandes edificaciones, vallas publicitarias, torres de control aéreo y plataformas petroleras en alta mar (Novo Crespo y Pastor Pérez, 2015).

Afectaciones de la contaminación lumínica a la flora y fauna

Si bien en el principio los estudios de contaminación lumínica se enfocaron en los problemas que ocasionaba en el área de la astronomía, se ha empezado también a vislumbrar, durante las últimas décadas, los impactos de esta problemática en la biodiversidad, tanto en la flora como en la fauna (González-Madrigal et al., 2020), donde ALAN puede llegar a interrumpir el natural comportamiento biológico de las especies en los ciclos día-noche (Gaston, Visser y Hölker, 2015).

Flora

Espectro del color

El problema del espectro del color con el que se ilumina artificialmente la noche repercute en las plantas y hongos, considerando que los espectros de luz UV-B Y UV-A son críticos para estas especies (Schroer y Hölker, 2016). Respecto a esto se han observado efectos en su capacidad de orientación en el espacio (fototropismo) (Falcón et al., 2020). Al tratarse de seres vivos sedentarios, este impacto se refleja en su habilidad natural para alterar su crecimiento y así optimizar la captura de luz y efectuar fotosíntesis (Fankhauser y Christie, 2015). Esta alteración se manifiesta en la mayoría de plantas y hongos en presencia de la luz roja que promueve el fototropismo positivo y UV-A/azul el fototropismo negativo (Schumacher, 2017).

En esta misma línea de afectación del espectro de color al proceso natural de la fotosíntesis de las especies vegetales, Trouwborst et al. (2016) observaron que la exposición a la luz roja pura por parte de las hojas de pepino en desarrollo y ya desarrolladas es perjudicial para su sistema fotosintético. Wittmann y Pfanz (2016) estudiaron también los efectos en los procesos fotosintéticos que se llevan a cabo en los tallos de especies leñosas, en los que se evidenció que la luz azul puede desencadenar el proceso fotosintético en las capas celulares de la corteza, mientras que la exposición a luz verde y roja provoca este efecto en las capas celulares de la médula interna de los tallos.

Otro inconveniente de la exposición de las plantas a espectros de colores es la generación de compuestos potencialmente tóxicos. En el mundo de los invernaderos, donde se expone a los cultivos a la luz LED con emisión de luz roja + azul, se ha visto un incremento anormal en la acumulación de nitratos de por ejemplo los cultivos de lechuga de cordero (Wojciechowska et al., 2016), y en la lechuga comestible (Lin et al., 2013).

Intensidad de Luz

Los efectos sobre las plantas también pueden ser visibles a simple vista con cambios en su fisiología. En el año 2015, Bennie et al. (2016) evidenciaron los efectos de ALAN en la densidad de la cabeza de flor en una especie leguminosa, Massetti (2018) estudió la relación que existe entre la intensidad de alumbrado público

exterior y la caída de las hojas de los árboles de plátano en la ciudad de Florencia, Italia, encontrando que durante la época del invierno los árboles expuestos a ALAN mantenían sus hojas aún verdes por más tiempo. En Reino Unido Ffrench-Constant et al. (2016) estudiaron el efecto de la iluminación nocturna en cuatro especies arbóreas, encontrando que el brote de hojas se presenta hasta 7,5 días antes de lo habitual en zonas con mayor brillo nocturno.

Otros problemas que origina la intensidad de luz urbana o suburbana incluyen el cambio de color en las hojas de árboles, retención prolongada en especies de hoja caduca, floración y brotación a destiempo, crecimiento o defensa contra patógenos (Falcón et al., 2020). En el caso de los hongos, Liu et al. (2020) investigaron los efectos interactivos entre ALAN y la capacidad de la comunidad fúngica para descomponer la basura acuática, encontrando que ALAN inhibe la capacidad de descomposición de la comunidad fúngica.

Fauna

Dentro de este grupo, los más estudiados han sido los insectos y animales vertebrados, de los cuales se hará énfasis más adelante, pero se ha dejado un poco de lado al segundo grupo de animales más grandes, los moluscos (Hussein et al., 2021). Underwood et al. (2017) en uno de los pocos estudios sobre moluscos, expusieron que los efectos de la contaminación lumínica generarían cambios en su comportamiento que podrían interrumpir las interacciones interespecíficas y, por lo tanto, el funcionamiento del ecosistema. En el mundo de los peces, Brüning et al. (2016) descubrieron que la exposición de la perca europea a la luz verde, roja y azul tenían el potencial de alterar tanto el ciclo de melatonina como su ritmo reproductivo.

Al igual que en las plantas, los animales poseen un sistema orientación en el espacio denominado fototaxismo (Falcón et al., 2020), mismo que se activa de manera positiva, es decir las especies son atraídas hacia la luz y negativa, con el efecto contrario, mediante su exposición a la luz azul (Randel y Jékely, 2016), pero no necesariamente sucede solo con este espectro de color, ya que la exposición a diferentes colores de ALAN, pueden alterar el normal funcionamiento del fototaxismo. Se tiene el caso de las larvas de pez cebra que se activa con exposición a la infrarrojo cercano (Hartmann et al., 2018), en las larvas de la mosca de la fruta se activa en presencia de un rango UV/verde (Humberg y Sprecher, 2017), o directo en el espectro verde como en el caso de los murciélagos (Voigt et al., 2017).

La mayoría de las investigaciones sobre los efectos de ALAN en la fauna, revisados en la bibliografía, han sido enfocados en los insectos y las aves dentro de los vertebrados, por lo que se hace necesario conocer los resultados de estos estudios.

Insectos

La tabla 1 recoge estudios realizados sobre los efectos de ALAN en diferentes tipos de insectos, estudiados bajo diferentes comportamientos como: el desarrollo, movimiento, forrajeo, reproducción y depredación.

Aves

Para el caso de las aves, se recogen los estudios realizados sobre los efectos de ALAN en la actividad nocturna de diferentes especies de aves (ver tabla 2).

TABLA 1
Estudios sobre los efectos de ALAN en insectos

Proceso	Consecuencia/Impacto ALAN	Taxón estudiado	Fuente
Desarrollo	Crecimiento acelerado, lento o deteriorado	Grillos de campo	Durrant et al. (2018)
Movimiento	Atracción por las luminarias de longitud de onda corta	Polillas	Somers-Yeates et al. (2013)
	Dispersión no efectiva por evitar moverse por zonas iluminadas	Insectos acuáticos	Perkin et al. (2014)
	Oscurecimiento de señales de orientación como la vía láctea, afectando la navegación	Escarabajos peloteros	Dacke et al. (2013)
Forrajeo	Inhibe la locomoción normal en la noche	Saltamontes	Shi et al. (2017)
	Distrae a los insectos de su actividad normal de forrajeo	Polinizadores	Knop et al. (2017)
	Altera la luz nocturna natural para forrajeo	Mariposas	Seymoure (2018)
Reproducción	Aumenta la eficiencia de individuos parasitoides	Pulgones	Sanders et al. (2018)
	Reduce el éxito de apareamiento	Luciérnagas	Firebaugh y Haynes (2016)
	Disminución de la probabilidad de ovipositar	Mosca de la fruta	McLay et al. (2017)
Depredación	Mayor disponibilidad de presas en zona iluminada	Presas de murciélago ribereño	Russo et al. (2019)
	Afectación al mimetismo o camuflaje	Mariposa cebra	Seymoure (2016)

Adaptado de (Owens y Lewis, 2018) y (Owens et al., 2020)

Investigaciones realizadas en el Ecuador

De la revisión bibliográfica en el motor de búsqueda Google Académico y Scopus, se han encontrado solamente cuatro estudios sobre los efectos de la contaminación lumínica a través de la luz artificial nocturna en la fauna el país. Respecto a los efectos de esta problemática en la flora, no se evidenció ningún estudio, esto, hasta la fecha de este estudio.

Las investigaciones encontradas precisamente han sido publicadas durante la última década (2013, 2015, 2017, 2020). En el primer estudio, cronológicamente situado, Adrián Agea (2013) llevó a efecto un proyecto piloto en el que analizó la atracción de especies de polillas y mariposas nocturnas hacia fuentes ALAN en una localidad de las Islas Galápagos, cuyos resultados preliminares permitieron evidenciar que existió una mayor concentración de individuos en las zonas urbanas que en zonas rurales, posiblemente atraídos por las fuentes artificiales de luz. Después se tiene el estudio realizado por Camacho Cárdenas (2015), en el que analizó la vulnerabilidad del escarabajo joya en un ambiente altamente fragmentado y contaminado por luz en el país. Sus resultados evidenciaron los efectos aspiradora que tiene ALAN sobre los insectos a una escala de paisaje.

Pasando de las investigaciones en los insectos a los mamíferos, se tiene el estudio de Quiñónez Macías (2017), en el que analizó el estado de conservación de murciélagos en un Bosque Protector ubicado en la provincia del Guayas, mediante la relación de diversas variables ambientales, entre las que constaba el brillo

del cielo nocturno, con la presencia de los individuos. Encontrando que, a mayor brillo del cielo, menor abundancia de individuos disponibles para ser capturados y estudiados.

TABLA 2
Estudios sobre los efectos de ALAN en las aves.

Proceso	Consecuencia/Impacto ALAN	Taxón estudiado	Fuente
Ritmo Circadiano	Alteración del ciclo normal de sueño - vigilia	Tórtola collariza	Castell Orell (2018)
		Carbonero común	Raap et al. (2017)
Movimiento	Alteración de la zona de vuelo y descanso habitual al evitar volar por zona iluminada	Carbonero común	Jong et al. (2016)
		Mirlo común, mosquitero musical, mito	Spoelstra et al. (2015)
	Impacto contra edificaciones que emiten ALAN por las ventanas	Aves de Minneapolis	Lao et al. (2020)
		Aves paseriformes	Winger et al. (2019)
	Suspensión del vuelo por atracción de la luz artificial nocturna urbana	Aves migratorias de América del Norte	La Sorte et al. (2017)
	Caída de aves por deslumbramiento	Pardela atlántica (ave marina)	Rodríguez et al. (2022)
Supervivencia	Elección de hábitats iluminados, pero con poco recurso alimenticio	Aves migratorias EEUU	McLaren et al. (2018)
Comportamiento	Alteración en el inicio del canto al amanecer	Atrapamoscas pechirojo	Sánchez-González et al.(2021)
Reproducción	Acelerado desarrollo testicular y reproductivo	Mirlos europeos	Dominoni et al. (2013)
	Reducción en la producción de huevos e incubabilidad	Periquito común	Malek y Haim (2019)

Dentro de este mismo grupo de fauna, se tiene la última investigación efectuada en las playas de Puerto López, provincia de Manabí, por los autores Arízaga Medina y Cárdenas Pasato (2020), en el que estudiaron la interferencia de ALAN en el proceso de anidación de tortugas marinas, comprobando que los lugares en los que no se tenían barreras contra la luz artificial bien sea estas naturales o antropogénicas favorecían a que exista un menor porcentaje de anidación de las especies de tortugas observadas.

RESULTADOS

Con la información recopilada de todos los estudios revisados se lleva a cabo un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) de la problemática ambiental relacionada con la contaminación lumínica aplicable en el Ecuador (ver tabla 3).

Claramente, un nuevo actor ambiental ha sido creado por la humanidad, a saber ALAN y se encuentra cada vez más presente en los cielos nocturnos, que en un principio se concentraba en las grandes ciudades, ahora se expande hacia otras regiones debido a los fenómenos que los acompañan, que puede convertirse en un importante factor de pérdida de biodiversidad para cualquier región.

El Ecuador cuenta con normativa que promueve el cuidado, protección y preservación de la biodiversidad del territorio, así como para una adecuada gestión de los sistemas de alumbrado público, que son dos actores

fundamentales de esta problemática, por un lado, tenemos a la afectada, la biodiversidad y por el otro al principal culpable, el alumbrado público nocturno. Esto se presenta como un ambiente propicio para la inclusión y profundización de la problemática de contaminación lumínica en el país con el objetivo de proponer normativa específica para atenuar este tipo de degradación ambiental.

TABLA 3
Análisis FODA problemática ambiental de ALAN en Ecuador.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • La Constitución de la República del Ecuador especifica como obligación del estado “adoptar las políticas y medidas oportunas que eviten impactos ambientales negativos cuando exista incertidumbre de daño” (CRE, 2008, p.114). • Existe un Reglamento Técnico Ecuatoriano de Alumbrado Público en el que se hace mención general de la contaminación lumínica (RTE INEN 069 Alumbrado Público, 2013, p. 110). 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe un gran nicho de estudio por ser abordado por la academia junto a instituciones público privadas interesadas y relacionadas con la preservación de la flora y fauna, y mejoras tecnológicas en los sistemas de alumbrado público. • Las experiencias recogidas en los países de la región y a nivel internacional en la protección de la biodiversidad, así como en la aplicación de normativa. • Promover lugares naturales de observación astronómica libres de contaminación lumínica como atractivo turístico.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • El país no cuenta con una normativa específica para mitigar los impactos de contaminación lumínica en la flora y fauna. • Falta de control sobre la iluminación artificial nocturna del alumbrado, publicidad y otros. • La falta de estudios ya existentes en el país no permite exponer a esta problemática a un nivel nacional y se corre el riesgo de ser catalogada como un tema puntual. • Poco interés en esta área de estudio, posiblemente debido a que sus efectos son menos visibles que los ocasionados en otros componentes como pueden ser el aire, suelo y agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • El crecimiento sin planificación y control de la población y por ende un aumento de la iluminación urbana nocturna. • Los atractivos turísticos en o cerca de hábitats de flora y fauna silvestre que priman la parte económica sobre la protección y conservación. • Costo de sustitución de las actuales iluminarias contaminantes. • Iluminación excesiva en los centros urbanos y rurales con el fin de extender la actividad turística nocturna.

Las investigaciones revisadas en este artículo de los efectos de esta problemática sobre insectos y aves permitieron conocer la seriedad del problema, en el que incluso se ha considerado a ALAN como un factor del apocalipsis de insectos (Owens et al., 2020), y un causante de la reducción de la población de aves a gran escala (Novo Crespo y Pastor Pérez, 2015). Esto debería despertar las alarmas en el país, considerando que en su territorio alberga a aproximadamente 1700 especies de aves (Freile y Poveda, 2019) y cerca de 300 mil especies de insectos (Donoso, 2018).

Los atractivos turísticos nocturnos se han caracterizado por la utilización de iluminación artificial muy llamativa, excesiva y sobre todo por un uso de amplio espectro de colores de luz. Esto se convierte en el detonante de activación involuntaria del fototaxismo y fototropismo, en las especies de fauna y flora

respectivamente, al ser expuestas a diferentes espectros de color, siendo unos más perjudiciales que otros. Estos ambientes antropogénicos, especialmente aquellos ubicados cerca a zonas de hábitat de vida silvestre, deberán tener especial atención para investigaciones de los efectos de ALAN sobre la naturaleza.

La responsabilidad de reducir este impacto ambiental causado por ALAN, deberá ser un objetivo de las respectivas administraciones públicas competentes, si bien algunas de las alternativas parecerán de difícil aplicación o generarán polémica, como en todo ámbito, se tendrá como evidencia los resultados positivos de sus aplicaciones en otros lados. Los hábitos consumistas actuales de las poblaciones junto con el uso irresponsable de las energías están generando problemas para la generación presente y puede volverse irreversible para las futuras generaciones. En esto, la academia tiene la obligación de elevar su voz y lograr que aquellos proyectos de investigación que nos muestran las consecuencias de lo que está pasando y las alternativas de solución no se queden en el papel y empiecen a ser puestos en marcha por los representantes políticos competentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La flora y fauna silvestre ha presentado varios efectos producto de su exposición a ALAN, entre las que se puede mencionar: cambios en su comportamiento habitual nocturno, cambios en sus rutas de desplazamiento nocturno en el caso de la fauna y cambios en sus ciclos fotosintéticos para la flora. También el forrajeo en la fauna se volvió una odisea al ser más visibles por sus presas, la polinización para la flora tuvo consecuencias en sus interacciones con los insectos. Finalmente, para todas las especies, uno de los peores desenlaces sería la muerte como consecuencia directa o indirecta de la contaminación lumínica.

En el país, durante la última década, la academia se ha empezado a interesar, aunque todavía en un muy pequeño grado, en los efectos que la contaminación lumínica puede tener en la biodiversidad del país. Pero es fundamental que vaya en aumento si tomamos en cuenta que Ecuador es considerado como un país megadiverso. Estas variables, dan apertura a un amplio nicho de estudio sobre los efectos que ALAN puede estar o ya ocasionando en la flora y fauna del país, por lo que la participación de las instituciones públicas y privadas relacionadas con esta área en proyectos de investigación interdisciplinarios junto a la academia será vital durante las siguientes décadas si se desea como país, conservar ese título adquirido.

Si bien es cierto, que esta problemática se origina en la mayoría de los casos en las ciudades, su impacto se extiende más allá de los límites urbanos, llegando a territorios en las que ha prevalecido la oscuridad, ocasionando alteraciones en las interacciones ecológicas. Comparando con otras formas de degradación ambiental, esta puede ser mitigada de una forma más fácil, basta con la implementación de medidas para la reducción de la luz exterior, sobre todo cuando no sea posible apagar totalmente la iluminación.

Recopilar las experiencias positivas y negativas de países vecinos de la región, tanto de la aplicación de metodologías para la correcta medición de esta contaminación como de la aplicación de medidas para su mitigación, esto permitirá un uso más eficiente de los recursos. Esto deberá ir de la mano de la creación de espacios de debate, foros y todo los medios disponibles para dar a conocer esta problemática y exponer las experiencias de los países de la región y a nivel internacional.

Es recomendable efectuar respectivos análisis de los impactos y de las acciones que se han tomado para mitigar esta problemática en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), considerando que este tipo de degradación podría estar relacionado con el Objetivo 7 (Energía No Contaminante), Objetivo 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), Objetivo 13 (Acción por el Clima), Objetivo 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) y pensar incluso en promover la creación de un ODS 18 relacionado con la calidad del cielo nocturno.

BIBLIOGRAFÍA

- Adrián Agea, R. (2013) Estudio piloto sobre la influencia de la luz artificial sobre la abundancia de especies de polillas y mariposas nocturnas en San Cristobal, Galapagos. Available at: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2643> (Accessed: 25 March 2022).
- Arízaga Medina, R.E. and Cárdenas Pasato, L.E. (2020) Efecto de la luz artificial en la anidación de tortugas marinas en playas del Cantón Puerto López, Manabí, Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 5(3.1), pp. 300–314. <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n3.1.2020.1512>.
- Bennie, J. *et al.* (2016) Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*, 104(3), pp. 611–620. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12551>.
- Brüning, A. *et al.* (2016) Impact of different colours of artificial light at night on melatonin rhythm and gene expression of gonadotropins in European perch. *The Science of the Total Environment*, 543(Pt A), pp. 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.023>.
- Camacho Cárdenas, L.F. (2015) Vulnerability of a jewel scarab (Coleoptera, Scarabaeidae, Rutelinae) in a highly fragmented light-polluted landscape in Ecuador. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador* [Preprint]. Available at: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/8736> (Accessed: 25 March 2022).
- Carvajal, T., Benítez, D. and Angulo, Y. (2014) Sistema de Control mediante LabVIEW para analizar la Contaminación Lumínica Automotriz. *MASKAY*, 4(1), pp. 22–27.
- Castell Orell, M. (2018) Efectos de la luz sobre el sueño en la tórtola collariza (*Streptopelia risoria*). Available at: <http://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/145667> (Accessed: 24 March 2022).
- Constitución de la República del Ecuador (CRE)* (2008). <https://www.registroficial.gob.ec/index.php/registro-oficial-web/publicaciones/registro-oficial/item/4864-registro-oficial-no-449.html> (Accessed: 29 March 2022).
- Cubas, J.M. and Puerta, J.C.G. (2020) *Astronomía y desarrollo rural: II Universidad de Verano de Aras de los Olmos Ciencia y Desarrollo Rural*. Universitat de València.
- Dacke, M. *et al.* (2013) Dung Beetles Use the Milky Way for Orientation. *Current Biology*, 23(4), pp. 298–300. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.12.034>.
- Dominoni, D., Quetting, M. and Partecke, J. (2013) Artificial light at night advances avian reproductive physiology. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1756), p. 20123017. Available at: <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.3017>.
- Donoso, D. (2018) *En Ecuador habitan al menos 300.000 especies de insectos*. El Universo. Available at: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/12/16/nota/7098345/ecuador-residen-menos-300000-especies-insectos> (Accessed: 31 March 2022).
- Durrant, J. *et al.* (2018) Artificial light at night prolongs juvenile development time in the black field cricket, *Teleogryllus commodus*. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 330(4), pp. 225–233. Available at: <https://doi.org/10.1002/jez.b.22810>.
- Falchi, F. *et al.* (2016) The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6), p. e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>.
- Falcón, J. *et al.* (2020) Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems. *Frontiers in Neuroscience*, 14. Available at: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnins.2020.602796> (Accessed: 21 March 2022).
- Fankhauser, C. and Christie, J.M. (2015) Plant Phototropic Growth. *Current Biology*, 25(9), pp. R384–R389. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.03.020>.
- Ffrench-Constant, R.H. *et al.* (2016) Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1833), p. 20160813. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0813>.
- Firebaugh, A. and Haynes, K.J. (2016) Experimental tests of light-pollution impacts on nocturnal insect courtship and dispersal. *Oecologia*, 182(4), pp. 1203–1211. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3723-1>.

- Freile, J.F. and Poveda, C. (2019) *Aves del Ecuador*. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Available at: <https://bioweb.bio/faunaweb/avesweb/DiversidadBiogeografia/> (Accessed: 31 March 2022).
- García, M.C. and Moreno, A. (2016) La Contaminación lumínica. Aproximación al problema en el barrio de Sants (Barcelona). *Observatorio Medioambiental*, 19, pp. 133–163. <https://doi.org/10.5209/OBMD.54165>.
- Gaston, K.J., Visser, M.E. and Hölker, F. (2015) The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667), p. 20140133. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>.
- González Dorta, N. (2014) *Influencia de la luz privada doméstica sobre la contaminación lumínica*. Masters Thesis. Universitat Politècnica de Catalunya.
- González-Madrugal, J., Solano-Lamphar, H. and Ramírez, M. (2020) La contaminación lumínica como aproximación a la planeación urbana de ciudades mexicanas. *EURE (Santiago)*, 46(138), pp. 155–174. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612020000200155>.
- Hartmann, S. *et al.* (2018) Zebrafish larvae show negative phototaxis to near-infrared light. *PLOS ONE*, 13(11), p. e0207264. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207264>.
- Hölker, F. *et al.* (2010) The Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light Pollution Policy. *Ecology and Society*, 15(4). Available at: <https://www.jstor.org/stable/26268230> (Accessed: 21 March 2022).
- Humberg, T.-H. and Sprecher, S.G. (2017) Age- and Wavelength-Dependency of Drosophila Larval Phototaxis and Behavioral Responses to Natural Lighting Conditions. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 11. Available at: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnbeh.2017.00066> (Accessed: 23 March 2022).
- Hussein, A.A.A. *et al.* (2021) Slowly seeing the light: an integrative review on ecological light pollution as a potential threat for mollusks. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(5), pp. 5036–5048. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11824-7>.
- International Dark-Sky Association (no date) Light Pollution. *Contaminación lumínica*. Available at: <https://bit.ly/3MQXhpp> (Accessed: 15 February 2022).
- Jong, M. de *et al.* (2016) Do Wild Great Tits Avoid Exposure to Light at Night?. *PLOS ONE*, 11(6), p. e0157357. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157357>.
- Knop, E. *et al.* (2017) Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*, 548(7666), pp. 206–209. <https://doi.org/10.1038/nature23288>.
- Kyba, C.C.M. *et al.* (2015) High-Resolution Imagery of Earth at Night: New Sources, Opportunities and Challenges. *Remote Sensing*, 7(1), pp. 1–23. <https://doi.org/10.3390/rs7010001>.
- La Sorte, F.A. *et al.* (2017) Seasonal associations with urban light pollution for nocturnally migrating bird populations. *Global Change Biology*, 23(11), pp. 4609–4619. <https://doi.org/10.1111/gcb.13792>.
- Lao, S. *et al.* (2020) The influence of artificial light at night and polarized light on bird-building collisions. *Biological Conservation*, 241, p. 108358. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108358>.
- Lin, K.-H. *et al.* (2013) The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, pp. 86–91. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>.
- Liu, Z. *et al.* (2020) Light Pollution Changes the Toxicological Effects of Cadmium on Microbial Community Structure and Function Associated with Leaf Litter Decomposition. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2), p. 422. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms21020422>.
- Malek, I. and Haim, A. (2019) Bright artificial light at night is associated with increased body mass, poor reproductive success and compromised disease tolerance in Australian budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *Integrative Zoology*, 14(6), pp. 589–603. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12409>.
- Massetti, L. (2018) Assessing the impact of street lighting on *Platanus x acerifolia* phenology. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, pp. 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.05.015>.
- McLaren, J.D. *et al.* (2018) Artificial light at night confounds broad-scale habitat use by migrating birds. *Ecology Letters*, 21(3), pp. 356–364. <https://doi.org/10.1111/ele.12902>.

- McLay, L.K., Green, M.P. and Jones, T.M. (2017) Chronic exposure to dim artificial light at night decreases fecundity and adult survival in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Insect Physiology*, 100, pp. 15–20. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.04.009>.
- Meléndez Rúa, L.P. (2015) *Caracterización de la intensidad luminosa responsable de la contaminación lumínica en entornos urbanos*. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa) [Preprint]. Available at: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/95810> (Accessed: 18 March 2022).
- Novo Crespo, S. and Pastor Pérez, I. (2015) La contaminación lumínica: una trampa para las aves. Available at: <https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/14988> (Accessed: 18 March 2022).
- Owens, A.C.S. *et al.* (2020) Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation*, 241, p. 108259. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108259>.
- Owens, A.C.S. and 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. <https://doi.org/10.1002/ece3.4557>.
- Perkin, E.K., Hölker, F. and Tockner, K. (2014) The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects. *Freshwater Biology*, 59(2), pp. 368–377. <https://doi.org/10.1111/fwb.12270>.
- Quiñónez Macías, M.J. (2017) *Diversidad y estado de conservación de murciélagos (mammalia: Chiroptera) en el Bosque Protector Cerro El Paraíso (Guayas-Ecuador) de mayo 2016 a junio 2017*. Thesis. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales. Available at: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/21087> (Accessed: 25 March 2022).
- Raap, T. *et al.* (2017) Disruptive effects of light pollution on sleep in free-living birds: Season and/or light intensity-dependent?. *Behavioural Processes*, 144, pp. 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2017.08.011>.
- Randel, N. and Jékely, G. (2016) Phototaxis and the origin of visual eyes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1685), p. 20150042. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0042>.
- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 Alumbrado Público* (2013). Available at: <http://extranet.comunidadesandina.org/sirt/sirtDocumentos/ECOTCR14116.pdf>.
- Rodríguez, A. *et al.* (2022) Tracking Flights to Investigate Seabird Mortality Induced by Artificial Lights. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.786557>.
- Russo, D. *et al.* (2019) Artificial illumination near rivers may alter bat-insect trophic interactions. *Environmental Pollution*, 252, pp. 1671–1677. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.105>.
- Sánchez-González, K., Aguirre-Obando, O.A. and Ríos-Chelén, A.A. (2021) Urbanization levels are associated with the start of the dawn chorus in vermilion flycatchers in Colombia. *Ethology Ecology & Evolution*, 33(4), pp. 377–393. <https://doi.org/10.1080/03949370.2020.1837963>.
- Sanders, D. *et al.* (2018) Low Levels of Artificial Light at Night Strengthen Top-Down Control in Insect Food Web. *Current biology: CB*, 28(15), pp. 2474–2478.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.05.078>.
- Schroer, S. and Hölker, F. (2016) Impact of Lighting on Flora and Fauna, in R. Karlicek *et al.* (eds). *Handbook of Advanced Lighting Technology*. Cham: Springer International Publishing, pp. 1–33. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00295-8_42-1.
- Schumacher, J. (2017) How light affects the life of *Botrytis*. *Fungal Genetics and Biology*, 106, pp. 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2017.06.002>.
- Seymoure, B.M. (2016) *Heliconius in a new light: The effects of light environments on mimetic coloration, behavior, and visual systems*. Arizona State University.
- Seymoure, B.M. (2018) Enlightening Butterfly Conservation Efforts: The Importance of Natural Lighting for Butterfly Behavioral Ecology and Conservation. *Insects*, 9(1), p. 22. <https://doi.org/10.3390/insects9010022>.
- Shi, L. *et al.* (2017) Adult Tea Green Leafhoppers, *Empoasca onukii* (Matsuda), Change Behaviors under Varying Light Conditions. *PLOS ONE*, 12(1), p. e0168439. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168439>.
- Somers-Yeates, R. *et al.* (2013) Shedding light on moths: shorter wavelengths attract noctuids more than geometrids. *Biology Letters*, 9(4), p. 20130376. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2013.0376>.

- Spoelstra, K. *et al.* (2015) Experimental illumination of natural habitat—an experimental set-up to assess the direct and indirect ecological consequences of artificial light of different spectral composition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667), p. 20140129. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0129>.
- Trouwborst, G. *et al.* (2016) Plasticity of photosynthesis after the “red light syndrome” in cucumber. *Environmental and Experimental Botany*, 121, pp. 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.002>.
- Underwood, C.N., Davies, T.W. and Queirós, A.M. (2017) Artificial light at night alters trophic interactions of intertidal invertebrates. *The Journal of Animal Ecology*, 86(4), pp. 781–789. Available at: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12670>.
- Voigt, C.C. *et al.* (2017) Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. *PloS One*, 12(5), p. e0177748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177748>.
- Winger, B.M. *et al.* (2019) Nocturnal flight-calling behaviour predicts vulnerability to artificial light in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1900), p. 20190364. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0364>.
- Wittmann, C. and Pfanz, H. (2016) The optical, absorptive and chlorophyll fluorescence properties of young stems of five woody species. *Environmental and Experimental Botany*, 121, pp. 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.007>.
- Wojciechowska, R. *et al.* (2016) Nitrate content in *Valerianella locusta* L. plants is affected by supplemental LED lighting. *Scientia Horticulturae*, 211, pp. 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.021>.