



## **Contaminación lumínica en Panamá: diagnóstico, desafíos y estrategias para un desarrollo sostenible**

## **Light pollution in Panama: diagnosis, challenges and strategies for sustainable development**

**Adam's Martínez Soto**

Ministerio de Educación, Colegio Dr. Harmodio Arias Madrid, Dolega Chiriquí, Panamá.

[adams.martinez@up.ac.pa](mailto:adams.martinez@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0001-8060-686X>

**Yaris Rodríguez**

Ministerio de Educación, Colegio Beatriz Miranda de Cabal, Panamá.

[yais.rodriguez@meduca.edu.pa](mailto:yais.rodriguez@meduca.edu.pa)

<https://orcid.org/0000-0003-0177-0042>

**Vicente Forero Villao**

Universidad Marítima Internacional de Panamá, Departamento de Física, Panamá

[vforero@umpi.ac.pa](mailto:vforero@umpi.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0003-3088-4866>

**Eduardo Chung**

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Física, Panamá.

[eduardo.chungng@up.ac.pa](mailto:eduardo.chungng@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0003-2834-9450>

**Fecha de recepción:** 25 de mayo de 2025

**Fecha de aceptación:** 23 de octubre de 2025

**DOI:** <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v28n1.a8946>

### **RESUMEN**

La contaminación lumínica es un problema ambiental en crecimiento que afecta la observación astronómica, la biodiversidad, la salud humana y la eficiencia energética. En Panamá, este fenómeno ha recibido escasa atención académica y política, a pesar del incremento sostenido del brillo del cielo nocturno asociado al crecimiento urbano y al uso indiscriminado de iluminación artificial. Este estudio analizó la situación actual mediante la revisión de 53 documentos, además datos satelitales VIIRS y herramientas estratégicas como FODA y PESTEL. Las evidencias muestran la necesidad de regulaciones estricta y campañas de concienciación ciudadana.

## **PALABRAS CLAVE**

Contaminación lumínica, alumbrado público, biodiversidad, sostenibilidad, regulación ambiental.

## **ABSTRACT**

Light pollution is a growing environmental problem that affects astronomical observation, biodiversity, human health, and energy efficiency. In Panama, this phenomenon has received little academic and political attention, despite the sustained increase in the brightness of the night sky associated with urban growth and the indiscriminate use of artificial lighting. This study analyzed the current situation by reviewing 53 documents, as well as VIIRS satellite data and strategic tools such as SWOT and PESTEL. The evidence shows the need for strict regulations and public awareness campaigns.

## **KEYWORDS**

Light pollution, public lighting, biodiversity, sustainability, environmental regulation.

## **INTRODUCCIÓN**

La contaminación lumínica, definida como la emisión excesiva o mal direccionada de luz artificial que degrada la oscuridad del cielo nocturno, constituye una preocupación ambiental creciente con repercusiones en la biodiversidad, la salud humana, la economía y la astronomía (Khorram, Yusefi and Keykha, 2014; Goronczy, 2021). El avance de la urbanización y el uso indiscriminado de iluminación artificial han transformado los ecosistemas nocturnos, alterando ritmos circadianos y afectando tanto a especies silvestres como a los seres humanos (Falcón *et al.*, 2020; Grubisic and van Grunsven, 2021).

En el ámbito astronómico, este fenómeno incrementa el brillo del cielo nocturno y reduce el contraste necesario para observar objetos de baja luminosidad, limitando el desarrollo científico y cultural vinculado a la observación del universo. Además, que representa un despilfarro energético que contribuye al cambio climático (Hall, 2022; Varela Perez, 2023). Desde una perspectiva sanitaria, se asocia a trastornos del sueño, alteraciones hormonales y enfermedades metabólicas (Assad, Fatma and Kumar, 2022; Dufier and Touitou, 2022).

A nivel internacional, la Declaración de La Palma (International Commission for the Protection of the Night Sky, 2007) y la Declaración de Cielos Oscuros de la IAU (2020) reconocen el cielo nocturno como patrimonio científico, cultural y ambiental, instando a los gobiernos a adoptar regulaciones para su protección.

En Panamá, la situación es particularmente crítica: la biodiversidad única del país convive con una rápida expansión urbana y un marco normativo aún limitado, en el que la contaminación lumínica no ha sido reconocida como prioridad ambiental. Esto genera riesgos tanto para la conservación de ecosistemas sensibles como para el desarrollo de la astronomía en nuestro territorio.

En este contexto, el presente estudio ofrece un diagnóstico de la contaminación lumínica en Panamá a partir de una revisión bibliográfica sistemática, la interpretación de datos satelitales VIIRS (2012–2023) y el uso de herramientas estratégicas como FODA y PESTEL, con el fin de identificar impactos, vacíos de investigación y oportunidades para orientar políticas públicas y estrategias de mitigación.

### **Marco Conceptual**

#### **Comprendiendo la Contaminación Lumínica**

La contaminación lumínica se manifiesta en diversas formas, cada una con efectos diferenciados sobre la biodiversidad, la salud y la observación astronómica:

- Resplandor del cielo nocturno (skyglow): incremento del brillo del cielo que dificulta la observación astronómica (Goronczy, 2021).
- Intrusión lumínica: entrada de luz artificial en espacios no deseados, con impactos en la calidad del sueño humano (Srivastava *et al.*, 2022).
- Deslumbramiento: reducción de la visibilidad causada por un exceso de brillo y un mal diseño de luminarias.
- Sobreiluminación: uso innecesario de luz que incrementa el gasto energético (Rajkhowa, 2012).
- Desorden lumínico (clutter): concentración excesiva de luces brillantes en entornos urbanos densos (Bedi, Puntambekar and Singh, 2021b).

Las principales fuentes incluyen el alumbrado público y de edificios, vallas publicitarias, faros de vehículos, actividades industriales y la urbanización acelerada con uso extendido de LED de alta temperatura de color (Mu *et al.*, 2021; Hannachi and Slimani, 2022).

En Panamá, estas fuentes se concentran en áreas urbanas y turísticas como la Cinta Costera en Ciudad de Panamá (Fig. 1), donde la iluminación artificial genera un resplandor que afecta tanto la calidad del cielo nocturno como los ecosistemas circundantes, como es el caso del Parque nacional Camino de Cruces.

### **Figura 1.**

*Vista nocturna de la Cinta Costera, Ciudad de Panamá, donde se aprecia el resplandor del cielo nocturno producto de la iluminación urbana. (Fotografía: cortesía de Abdiel Gil).*



Además de la intensidad de la luz, la contaminación lumínica se asocia al uso de espectros inadecuados, en particular la luz azul de los LED, que afecta los ritmos circadianos y los ciclos naturales de oscuridad. Esto confirma su carácter multidimensional, con implicaciones que requieren enfoques específicos según el área de análisis (astronomía, salud o biodiversidad).

### **Impactos de la Contaminación Lumínica**

La contaminación lumínica genera efectos que abarcan múltiples dimensiones:

- Ambientales: altera los ciclos naturales de luz y oscuridad, afectando agentes polinizadores, aves migratorias, murciélagos y la fauna marina (Falcón *et al.*, 2020; Marangoni *et al.*, 2022). Además, modificaciones en la fisiología de plantas y las dinámicas de los ecosistemas (Luarte *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2024).
- Salud humana: la exposición prolongada a luz artificial nocturna, en especial la luz azul de los LED, interfiere con los ritmos circadianos y aumenta el riesgo de trastornos del sueño, enfermedades metabólicas y problemas de salud ocular (Falchi *et al.*, 2011; Dufier and Touitou, 2022).
- Económicos: el uso ineficiente de iluminación implica un gasto energético innecesario que contribuye al cambio climático (Bedi, Puntambekar and Singh, 2021a; Zhang and Cheng, 2023).

- Astronomía: reduce la calidad de las observaciones científicas y actividades educativas (Hall, 2022; Hearnshaw, 2024).

Su carácter multidimensional confirma la necesidad de abordajes integrales que combinen monitoreo científico, educación ciudadana y políticas públicas específicas.

### **Métodos de Evaluación de la Contaminación Lumínica**

La literatura especializada identifica diversos enfoques para cuantificar la contaminación lumínica, cada uno con alcances y limitaciones:

- Fotómetros y cámaras panorámicas: instrumentos como el Sky Quality Meter (SQM) permiten medir el brillo del cielo en unidades estandarizadas ( $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ), mientras que las cámaras ofrecen mapas espaciales más detallados (Cinzano, 2004; Zamorano Calvo *et al.*, 2015).
- Plataformas basadas en el Internet de las cosas (Iot): integran sensores de luz y GPS, facilitando monitoreo distribuido y en tiempo real en áreas urbanas (Redzuan *et al.*, 2017; Dizon-Paradis *et al.*, 2022).
- Imágenes satelitales: sensores como VIIRS o registros desde la Estación Espacial Internacional permiten mapear la radiancia nocturna a gran escala y evaluar tendencias en diferentes periodos (Fang *et al.*, 2023).

En este estudio se emplearon imágenes satelitales VIIRS (2012–2023) y revisión bibliográfica sistemática para caracterizar la evolución de la contaminación lumínica en Panamá. Esta combinación permitió no solo identificar un incremento sostenido del brillo nocturno, sino también relacionarlo con el crecimiento económico nacional, aportando evidencia clave para orientar políticas públicas y futuras investigaciones locales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Este estudio adoptó un enfoque exploratorio y descriptivo, combinando una revisión bibliográfica sistemática con el análisis de datos satelitales para evaluar la contaminación lumínica en Panamá.

### **Revisión bibliográfica**

La búsqueda se realizó en bases de datos científicas internacionales (Scopus, Web of Science, Google Scholar) y en el repositorio especializado ALAN\_DB (Artificial Light at Night Database), que recopila literatura revisada por pares sobre luz artificial nocturna. Además, se incluyeron documentos gubernamentales y normativas panameñas relacionadas con alumbrado público y gestión ambiental.

Se emplearon combinaciones de palabras clave y operadores booleanos como: “contaminación lumínica” AND “biodiversidad”, “light pollution” AND “health”, “artificial light at night” OR “ALAN” AND “Panamá”. Estas estrategias permitieron recuperar literatura científica, tesis y normativas no indexadas en bases de datos tradicionales.

### **Criterios de inclusión y exclusión**

Criterios de inclusión:

- Publicaciones en español e inglés entre 2010 y 2024.
- Estudios revisados por pares que abordaran impactos de la contaminación lumínica en biodiversidad, salud humana, economía, urbanismo o astronomía.
- Documentos gubernamentales y tesis locales relacionados con el contexto panameño.

**Criterios exclusión:**

- Estudios con enfoque exclusivamente técnico (eficiencia energética sin considerar impactos ambientales o biológicos).
- Documentos sin revisión por pares ni respaldo institucional.
- Publicaciones centradas en contextos regionales no extrapolables al caso panameño o latinoamericano.

### **Proceso de selección de la literatura**

La búsqueda inicial identificó 5 326 registros en las bases de datos consultadas. No encontramos duplicados, se eliminaron 803 publicaciones por ser anteriores al año 2010 quedando 4 524 registros únicos. A partir de título y resumen, se excluyeron 4 401 documentos por no cumplir con los criterios, quedando 123 artículos para revisión a texto completo.

De estos, 75 documentos fueron descartados por no cumplir los criterios de inclusión. La muestra final estuvo compuesta por 53 documentos:

- 48 artículos internacionales revisados por pares,
- 2 tesis nacionales,
- 3 documentos gubernamentales de Panamá.

Este proceso se representa en la Figura 2, siguiendo las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión adaptadas del modelo PRISMA (Kahale et al., 2021).

### **Clasificación temática**

Los documentos incluidos se organizaron en seis categorías: Biodiversidad y Ecología, Salud Humana, Urbanismo, Modelos de Detección, Regulaciones y Políticas, Astronomía. Esta clasificación permitió identificar tendencias internacionales, vacíos de información en Panamá y prioridades de investigación.

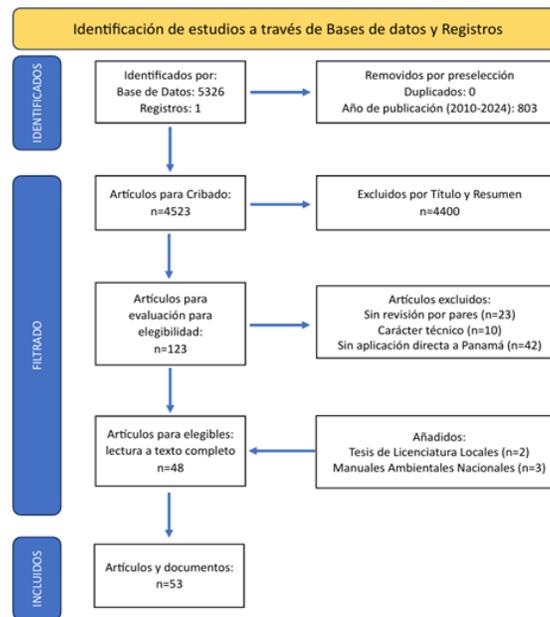
## Herramientas estratégicas

Se aplicaron dos marcos de análisis:

- FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas): para evaluar el contexto regulatorio y normativo nacional.
- PESTEL (Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal): para diseñar estrategias de mitigación adaptadas a Panamá, tomando en cuenta experiencias internacionales (Stewart, 1965; Aguilar, 1967).

## Figura 2.

Diagrama de flujo del proceso de selección de artículos, basado en el modelo PRISMA.



## Análisis satelital

Se emplearon datos del Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) para el periodo 2012–2023, descargados de la plataforma Light Pollution Map. Los mapas geospaciales fueron provistos por dicho portal, mientras que los datos anuales de radiancia fueron procesados y organizados en series temporales.

Posteriormente, los valores de radiancia nocturna se compararon con el Producto Interno Bruto (PIB) nacional, utilizando estadísticas del Banco Mundial. Esta comparación permitió explorar la relación entre el crecimiento económico y el incremento de la iluminación artificial en Panamá.

## RESULTADOS

### Selección y clasificación de la literatura científica

Del proceso de búsqueda y depuración se obtuvieron 48 artículos internacionales revisados por pares, 2 tesis locales y 3 documentos regulatorios nacionales. Los textos se organizaron en seis categorías temáticas:

- Biodiversidad y Ecología: 11 documentos
- Salud Humana: 6 documentos
- Urbanismo: 8 documentos
- Astronomía: 8 documentos
- Modelos de Detección: 8 documentos
- Regulaciones y Políticas: 12 documentos

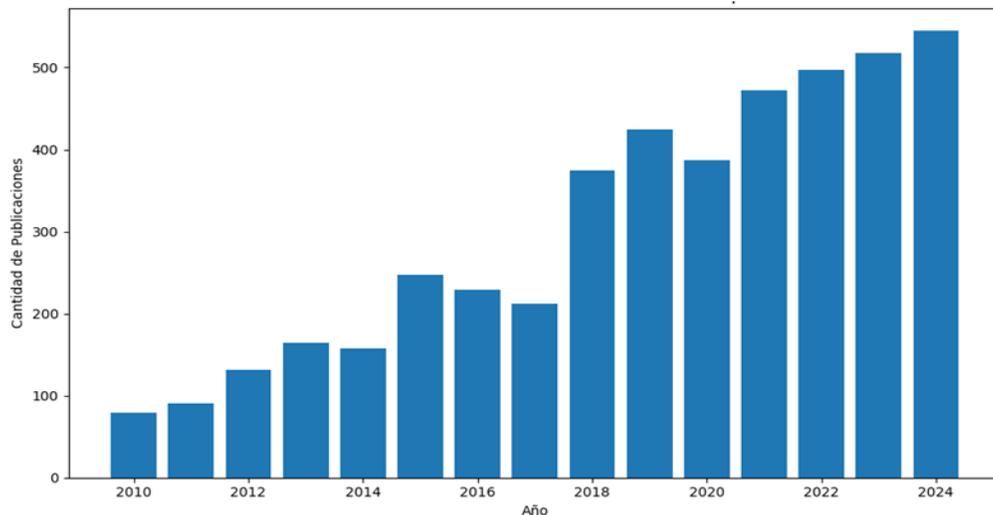
Para facilitar la trazabilidad de la revisión bibliográfica, se elaboró un cuadro resumen con los 53 documentos seleccionados (48 artículos internacionales, 2 tesis nacionales y 3 documentos regulatorios de Panamá). El detalle completo de los 53 documentos incluidos en la revisión bibliográfica se presenta en el Anexo (Cuadro 3), donde se especifican autores, año, tipo de documento, área temática y el título.

### Evolución temporal de las publicaciones (2010–2024)

El número de publicaciones sobre contaminación lumínica mostró un crecimiento sostenido, con un repunte significativo a partir de 2016 y un máximo en 2023–2024 (Fig. 3).

#### Figura 3.

*Evolución del número de publicaciones sobre contaminación lumínica entre 2010 y 2024.*

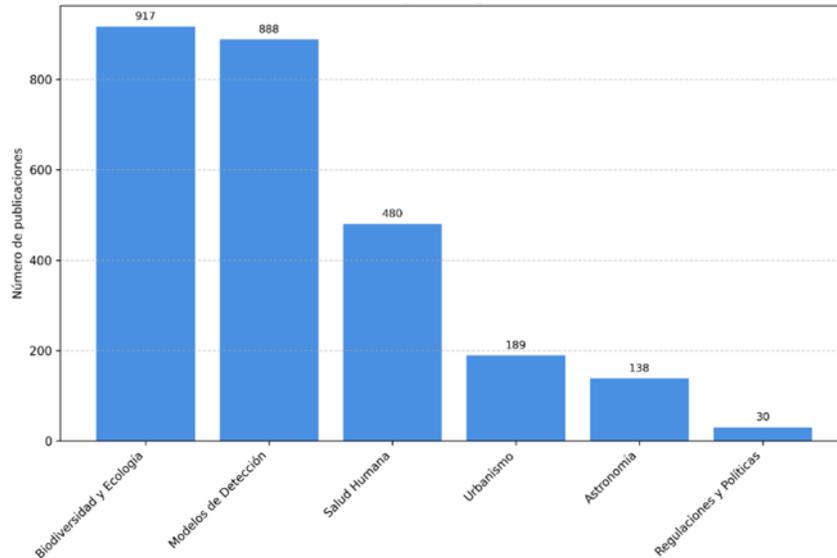


### Distribución temática

La mayor proporción de estudios corresponde a Biodiversidad y Ecología, seguida de Modelos de Detección y Salud Humana. En contraste, áreas como Urbanismo, Astronomía y Regulaciones/Políticas presentan menor representación (Fig. 4).

### Figura 4.

*Distribución de publicaciones científicas por categoría temática entre 2010 y 2024, según la revisión bibliográfica realizada.*



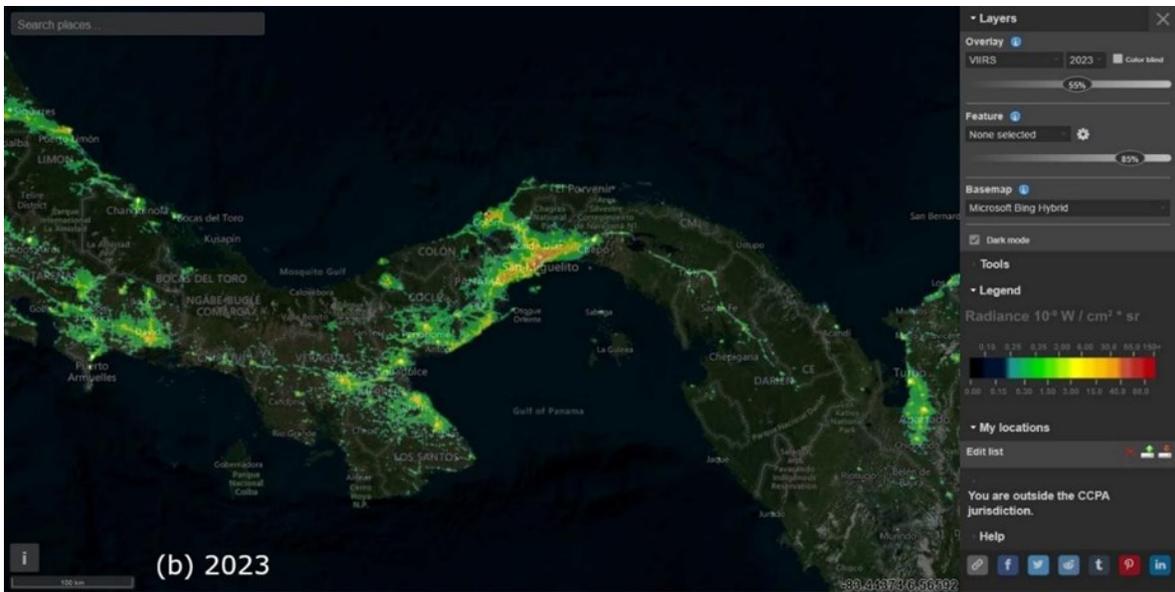
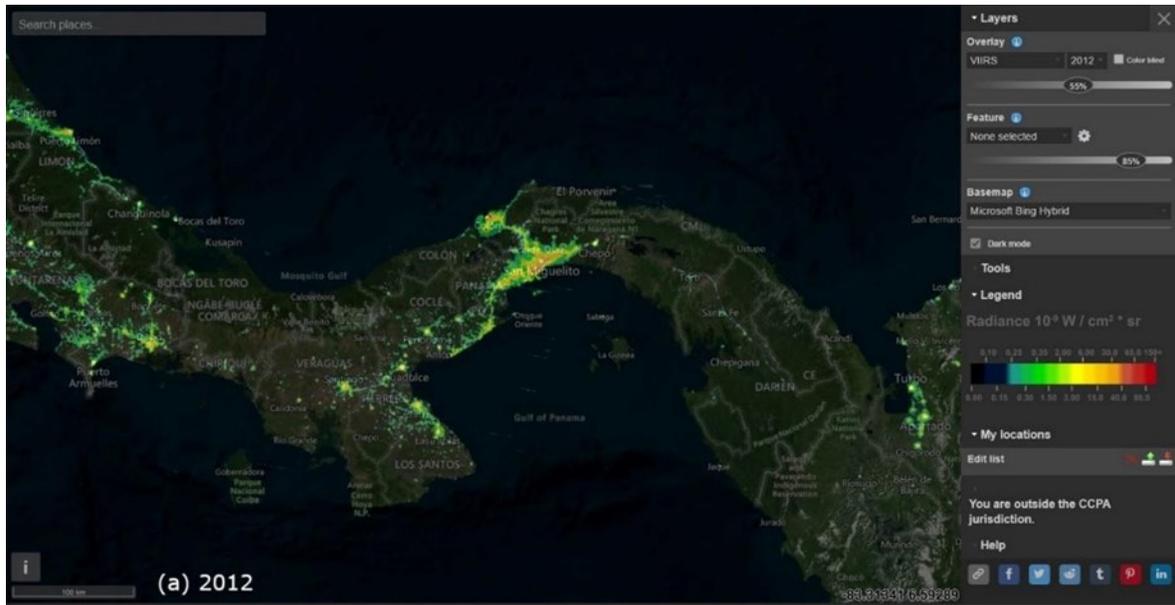
### Resultados geospaciales para Panamá

El análisis satelital con VIIRS evidenció un incremento del 85.64 % en la radiancia nocturna entre 2012 y 2023. La serie temporal mostró una reducción en 2020–2021, atribuida a la pandemia de COVID-19, y un repunte en 2023.

La evolución de este fenómeno lo podemos visualizar en todo el territorio, podemos ver un aumento distribuido a lo largo de la vía interamericana con focos en las ciudades de provincia (Fig. 5).

**Figura 5.**

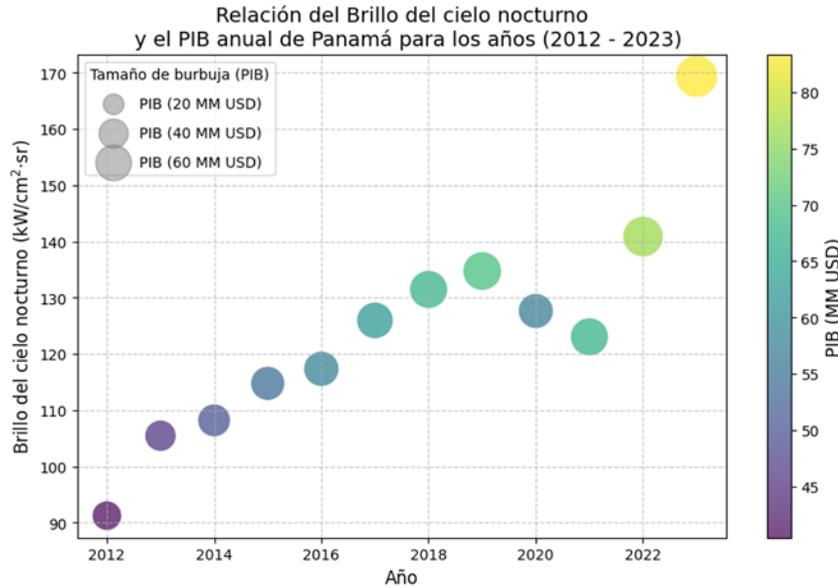
*Mapa de evolución de la contaminación lumínica en Panamá, comparación entre 2012 (a) y 2023 (b), basado en datos del sensor VIIRS. Fuente: Light Pollution Map (n.d.).*



Al comparar esta serie temporal comparativa (Figura 6), de los datos VIIRS y los registros de Producto Interno Bruto del país, podemos observar una relación entre el crecimiento económico y el aumento de la iluminación artificial.

**Figura 6.**

*Brillo del cielo nocturno anual en Panamá según VIIRS Country Statistics (2012–2023) y Producto Interno Bruto anual según el Banco Mundial (precios actuales, 10/30/24). Elaboración del equipo de investigación.*



Asimismo, la tabla completa de valores de radiancia y PIB anual que sustenta estas figuras se presenta en el Anexo (Cuadro 4).

**DISCUSIÓN**

Los resultados muestran que la contaminación lumínica es una problemática abordada desde múltiples perspectivas, con diferencias notables entre categorías temáticas y un claro contraste entre los avances internacionales y la situación nacional.

**Biodiversidad y Ecología**

De los 11 artículos revisados, se documentan efectos consistentes sobre la fauna nocturna como desorientación en crías de tortugas marinas (Arízaga Medina and Cárdenas Pasato, 2020), alteraciones en aves migratorias (Owens *et al.*, 2020) y cambios en el proceso polinización (Grubisic and van Grunsven, 2021). Para el contexto panameño, el estudio de Flores y De La Cruz (2023) confirma que la iluminación en las playas interrumpe la orientación de la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), lo que evidencia que especies

emblemáticas del país ya están en riesgo. Esto subraya la urgencia de integrar este tipo de contaminación en los planes de conservación y regulaciones.

### **Salud Humana**

Los 6 estudios analizados destacan riesgos por la exposición prolongada a la luz artificial nocturna, incluyendo alteraciones circadianas y enfermedades metabólicas (Falchi *et al.*, 2011; Cao, Xu and Yin, 2023; Muñoz Ccuro *et al.*, 2024). El uso de luminarias con filtros espectrales (Menéndez-Velázquez, Morales and García-Delgado, 2022) se plantea como alternativa preventiva. En Panamá, la ausencia de estudios epidemiológicos confirma un vacío crítico que limita la incorporación de esta dimensión en la agenda de salud pública.

### **Urbanismo**

Los 8 estudios de esta categoría evidencian la estrecha relación entre expansión urbana y aumento de la radiancia global (Kyba *et al.*, 2017). En Panamá, diagnósticos pioneros como los de Pino (2016) y Visuette (2024) documentan el deterioro del cielo nocturno en comunidades urbanas, reflejando la ausencia de criterios ambientales en la planificación territorial. La experiencia internacional demuestra que el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y normativas urbanas específicas son herramientas efectivas que podrían adaptarse al contexto local (Elsahragty and Kim, 2015; Rueda-Espinosa *et al.*, 2023).

### **Astronomía**

Los 8 artículos revisados confirman la pérdida global de calidad del cielo nocturno (Falchi *et al.*, 2016; Hearnshaw, 2024), agravada por la proliferación de satélites (Hall, 2022; Koller-Thompson *et al.*, 2020). Panamá, ha tenido un aumento del 85.64 % en la radiancia entre 2012 y 2023 refleja un deterioro paralelo al crecimiento económico, lo que amenaza tanto la investigación científica como la educación astronómica.

### **Modelos de Detección**

Los 8 estudios en este campo resaltan el potencial de tecnologías como plataformas IoT y modelos híbridos de evaluación (Dizon-Paradis *et al.*, 2022; Zhao and Fu, 2023). Si bien en Panamá estas metodologías aún no se han implementado de forma sistemática, su adopción facilitaría un monitoreo más preciso y la construcción de indicadores comparables a nivel internacional (Fang *et al.*, 2023).

### **Regulaciones y Políticas**

Los 12 documentos analizados abarcan artículos académicos, iniciativas internacionales y normativas gubernamentales. Se destacan experiencias como los Dark Sky Parks (Alva *et al.*, 2023) y proyectos de ley como el Dark Sky Stewardship Act (Rep. Sherrill, 2024). En contraste, Panamá cuenta únicamente con disposiciones fragmentadas por la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP) (2019), lo que confirma un vacío normativo que limita la gestión integral del problema.

## Análisis Estratégico

El análisis FODA, tabla 1, permitió identificar fortalezas y oportunidades vinculadas al interés creciente por la sostenibilidad y la disponibilidad de tecnologías eficientes, pero también debilidades como la falta de estudios locales y de monitoreo sistemático, así como amenazas derivadas de la expansión urbana sin regulación y la resistencia de sectores económicos.

**Tabla 1.**

*Análisis FODA de las regulaciones ambientales y de servicios públicos en Panamá.*

|   |  |
|---|--|
| F<br>O<br>R<br>T<br>A<br>L<br>E<br>Z<br>A<br>S                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Regulación: La normativa panameña en materia de alumbrado público reconoce la contaminación lumínica e incluye medidas para su mitigación (Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), 2019).</li> <li>Interés por la sostenibilidad: Panamá ha avanzado en regulaciones ambientales y estrategias de desarrollo sostenible, lo que puede facilitar la inclusión de regulaciones más específicas sobre iluminación artificial.</li> <li>Zonas protegidas: La biodiversidad única de Panamá y la presencia de áreas naturales protegidas permiten la creación de reservas de cielos oscuros, como estrategia para mitigar la contaminación lumínica.</li> </ul> |
| O<br>P<br>O<br>R<br>T<br>U<br>N<br>I<br>D<br>A<br>D<br>E<br>S | <ul style="list-style-type: none"> <li>Integración con estrategias de sostenibilidad urbana: La contaminación lumínica puede abordarse dentro de planes más amplios de ciudades inteligentes y sostenibilidad.</li> <li>Concienciación sobre impactos en salud y biodiversidad: El creciente número de estudios que relacionan la contaminación lumínica con alteraciones en los ritmos circadianos y la biodiversidad puede generar presión pública para su regulación.</li> <li>Implementación de tecnologías eficientes: Las nuevas tecnologías de iluminación, como LED de baja temperatura de color y sensores inteligentes, pueden ayudar a mitigar el problema sin comprometer la seguridad.</li> </ul> |
| D<br>E<br>B<br>I<br>L<br>I<br>D<br>A<br>D<br>E<br>S           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reconocimiento: La contaminación lumínica no está clasificada entre los principales problemas ambientales de Panamá, lo que limita su inclusión en políticas nacionales (Ministerio de Ambiente, 2023).</li> <li>Estudios locales: No existen suficientes investigaciones en Panamá sobre la evolución de la contaminación lumínica y sus impactos.</li> <li>Monitoreo y medición sistemática: Actualmente, no hay un sistema de monitoreo regular de la contaminación lumínica en Panamá, lo que dificulta la toma de decisiones basada en datos.</li> </ul>   |
| A<br>M<br>E<br>N<br>A<br>Z<br>A<br>S                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Expansión urbana: El crecimiento acelerado de la infraestructura urbana sin normativas específicas sobre iluminación puede agravar la contaminación lumínica.</li> <li>Conciencia pública: La contaminación lumínica sigue siendo percibida como un problema menor, lo que reduce la demanda de regulaciones más estrictas.</li> <li>Resistencia: La implementación de normativas más estrictas podría enfrentar oposición por parte de la industria de la iluminación, el comercio y otros sectores que dependen de la publicidad luminosa.</li> </ul>   |

Por su parte, el PESTEL, cuadro 2, evidenció que la mitigación de la contaminación lumínica requiere un abordaje integral que combine regulaciones más estrictas, incentivos económicos, campañas de sensibilización, innovación tecnológica, estrategias de conservación ecológica y un marco legal robusto.

**Tabla 2.**

*Estrategias de mitigación de la contaminación lumínica en Panamá según el marco PESTEL*

|  |         |  |
|--|---------|--|
| P<br>O<br>L<br>Í<br>T<br>I<br>C<br>O           | Acción  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar regulaciones estrictas que promuevan el uso de tecnologías avanzadas de iluminación en áreas urbanas y rurales, siguiendo normativas internacionales y estudios recientes sobre el tema (Elsahragty and Kim, 2015).</li> <li>• Integrar la contaminación lumínica dentro de las estrategias ambientales nacionales y los planes de ordenamiento territorial.</li> <li>• Promover acuerdos interinstitucionales para garantizar la aplicación efectiva de regulaciones en áreas protegidas.</li> </ul>   |
|  | Impacto | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un marco normativo específico fomentaría la implementación de tecnologías de iluminación sostenible, fortalecería la adopción de prácticas de conservación y permitiría una mejor coordinación entre entidades gubernamentales, el sector privado y la sociedad.</li> </ul>   |
| E<br>C<br>O<br>N<br>Ó<br>M<br>I<br>C<br>O      | Acción  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ofrecer incentivos fiscales y financiamiento sostenible para las empresas y municipios que implementen LED de baja temperatura de color y ajustes espectrales adecuados, reduciendo las emisiones de luz azul (Kamei <i>et al.</i>, 2021).</li> <li>• Fomentar la implementación de un alumbrado público mediante alianzas que prioricen la sostenibilidad y eficiencia energética.</li> <li>• Implementar un sistema, donde los sectores que generen más emisiones de luz deban invertir en compensaciones ambientales.</li> </ul>   |
|  | Impacto | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducirá costos operativos a largo plazo, promoverá la inversión en tecnologías sostenibles y permitirá una transición gradual hacia sistemas de iluminación adaptativa y regulada.</li> </ul>  |
| S<br>O<br>C<br>I<br>A<br>L                     | Acción  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover campañas de sensibilización pública que informen a la ciudadanía sobre los efectos adversos de la contaminación lumínica en la salud, la biodiversidad y la observación astronómica (Marangoni <i>et al.</i>, 2022).</li> <li>• Incluir programas educativos en escuelas y universidades para promover una cultura de iluminación responsable. Adoptando, plataformas de ciencia ciudadana para monitorear la contaminación lumínica.</li> <li>• Implementar programas de iluminación sostenible en espacios públicos, integrando participación comunitaria en el diseño y mantenimiento de la infraestructura.</li> </ul> |
|  | Impacto | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentará la concienciación y el apoyo social para la reducción de la contaminación lumínica, fomentando cambios en los hábitos de iluminación y mayor exigencia hacia políticas sostenibles.</li> </ul>  |
| T<br>E<br>C<br>N<br>O<br>L<br>O<br>G<br>Í<br>A | Acción  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar tecnologías de iluminación inteligente, como LED con sensores de atenuación, reguladores de intensidad lumínica y sistemas automatizados que ajusten la iluminación según las necesidades del entorno (Kamei <i>et al.</i>, 2021)</li> <li>• Aplicar herramientas de teledetección satelital como VIIRS y redes de sensores urbanos para el monitoreo en tiempo real de la contaminación lumínica (Zhao and Fu, 2023).</li> </ul>   |

|   |         |   |
|---|---------|---|
| Ó<br>G<br>I<br>C<br>O                     | Impacto | <ul style="list-style-type: none"> <li>Incentivar la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de iluminación de bajo impacto ambiental, especialmente en sectores comerciales e industriales.</li> </ul>  |
|   |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Optimizará el uso de la luz artificial, reduciendo su impacto sin comprometer la seguridad ni la funcionalidad del alumbrado urbano.</li> <li>Permitirá la detección temprana de zonas con altos niveles de contaminación lumínica y facilitando la toma de decisiones basadas en datos locales.</li> </ul>  |
| E<br>C<br>O<br>L<br>Ó<br>G<br>I<br>C<br>O | Acción  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer reservas de cielos oscuros en áreas naturales protegidas para reducir la intrusión lumínica en ecosistemas sensibles.</li> <li>Implementar regulaciones sobre temperatura de color y espectro de luz en entornos ecológicamente críticos (Zhang <i>et al.</i>, 2019).</li> <li>Desarrollar planes de restauración ecológica en zonas afectadas por la contaminación lumínica, promoviendo corredores biológicos nocturnos y el uso de vegetación que actúe como barrera lumínica.</li> <li>Evaluar la posibilidad de imponer restricciones horarias en el alumbrado público en zonas de baja circulación nocturna.</li> </ul>   |
|   |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ayudará a mitigar los efectos negativos de la luz artificial en la biodiversidad, protegiendo especies nocturnas como aves migratorias, polinizadores y la fauna marina. Contribuyendo a preservar el equilibrio de los ecosistemas y mejorar la calidad del cielo nocturno.</li> </ul>  |
| L<br>E<br>G<br>A<br>L                     | Acción  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fortalecer los mecanismos de fiscalización y cumplimiento normativo, asegurando la correcta aplicación de las regulaciones sobre alumbrado público. Implementar multas y sanciones escalonadas para empresas que no cumplan con estándares de iluminación sostenible (Pothukuchi, 2023).</li> <li>Integrar criterios de contaminación lumínica en códigos de construcción y zonificación urbana, restringiendo el uso de publicidad lumínica en áreas residenciales y naturales (Ministerio de Ambiente, 2023).</li> <li>Adaptar normativas internacionales como las establecidas por la International Dark-Sky Association (IDA) para garantizar la protección del cielo nocturno.</li> </ul> |
|   |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mejorará la regulación y el cumplimiento normativo, reduciendo el impacto de la contaminación lumínica en áreas urbanas y naturales. Creando un marco de responsabilidad compartida entre el sector privado, el gobierno y la sociedad para una mejor gestión de la iluminación artificial.</li> </ul>   |

## Síntesis

Los resultados evidencian que la contaminación lumínica constituye una problemática multidimensional. La comparación con experiencias internacionales demuestra que la implementación de marcos regulatorios específicos, tecnologías de iluminación sostenible y programas de educación ciudadana puede reducir significativamente la contaminación lumínica.

Aunque existe un cuerpo robusto de evidencia internacional que documenta sus efectos, en Panamá los estudios son aún incipientes, limitados a diagnósticos locales y normativas fragmentadas. La ausencia de investigaciones, monitoreo continuo y organizado, representan desafíos clave que limitan la capacidad de gestión.

Estos hallazgos se alinean directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular:

- ODS 3 (Salud y bienestar), al evidenciar los efectos de la luz artificial en los ritmos circadianos y enfermedades metabólicas.
- ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), al destacar la necesidad de integrar criterios de iluminación responsable en la planificación urbana.
- ODS 13 (Acción por el clima), por el vínculo entre consumo energético y emisiones asociadas al uso ineficiente de luz artificial.
- ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), al documentar los impactos sobre especies emblemáticas como tortugas marinas, aves migratorias y polinizadores nocturnos.

Cabe destacar que la inclusión del tema en el currículo escolar y en programas de educación ambiental es esencial para fomentar una conciencia ciudadana temprana, que permita reconocer la contaminación lumínica como un problema ambiental prioritario y promover un cambio cultural hacia prácticas de iluminación más sostenibles y responsables.

## CONCLUSIONES

La evidencia confirma que la contaminación lumínica en Panamá ha aumentado de forma sostenida, vinculada al crecimiento urbano y económico, con efectos documentados sobre la biodiversidad, la salud y la astronomía. Pese a algunos avances regulatorios, persisten vacíos normativos, ausencia de monitoreo sistemático y limitada investigación local. Enfrentar estos desafíos demanda regulaciones más estrictas, tecnologías de iluminación sostenibles y campañas de sensibilización que integren este tema en la educación ambiental y el currículo escolar. Se requiere un enfoque interdisciplinario y políticas públicas sólidas para mitigar sus efectos y avanzar hacia un desarrollo urbano sostenible, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, F.J. (1967) *Scanning the business environment*. Edited by Macmillan. New York: Studies of the modern corporation, An Arkville Press book.

Alva, A. *et al.* (2023) “Dark Sky Parks: public policy that turns off the lights,” *Journal of Environmental Planning and Management* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1080/09640568.2023.2275535>.

Arízaga Medina, R.E. & 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. Available at: <https://doi.org/10.33890/INNOVA.V5.N3.1.2020.1512>.
- Assad, H., Fatma, I. & Kumar, A. (2022) “Health Impacts/Risks of Light Pollution,” in *Health Impacts/Risks of Light Pollution*. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781003185109-5>.
- Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP) (2019) *Reglamento de alumbrado público en Panamá, ASEP*. Panamá.
- Bedi, T.K., Puntambekar, K. & Singh, S. (2021a) “Assessment of Light Pollution in Indian Scenario: A Case of Bangalore,” *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 102(3). Available at: <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00530-3>.
- Bedi, T.K., Puntambekar, K. & Singh, S. (2021b) “Light pollution in India: appraisal of artificial night sky brightness of cities,” *Environment, Development and Sustainability*, 23(12). Available at: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01384-2>.
- Cao, M., Xu, T. & Yin, D. (2023) “Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations,” *Journal of Environmental Sciences*, 127, pp. 589–602. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.JES.2022.06.020>.
- Cinzano, P. (2004) “A portable spectrophotometer for light pollution measurements,” *Mem SA It Suppl*, 5.
- Dizon-Paradis, R.N. *et al.* (2022) “Light Pollution Monitoring Using A Modular IoT Sensor Platform,” in *Proceedings - 2022 IEEE International Conference on Smart Internet of Things, SmartIoT 2022*. Available at: <https://doi.org/10.1109/SmartIoT55134.2022.00014>.
- Dufier, J.L. & Touitou, Y. (2022) “Pollution lumineuse,” *La Revue du praticien*, 72(2).
- Elsahragty, M. & Kim, J.L. (2015) “Assessment and Strategies to Reduce Light Pollution Using Geographic Information Systems,” *Procedia Engineering*, 118, pp. 479–488. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.08.458>.
- Falchi, F. *et al.* (2011) “Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility,” *Journal of Environmental Management*, 92(10), pp. 2714–2722. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2011.06.029>.

- Falcón, J. *et al.* (2020) “Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems,” *Frontiers in Neuroscience*. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602796>.
- Fang, L. *et al.* (2023) “Light Pollution Index System Model Based on Markov Random Field,” *Mathematics*, 11(13). Available at: <https://doi.org/10.3390/math11133030>.
- Flores, E.E. & De La Cruz, J.R. (2023) “Nesting activity of *Lepidochelys olivacea*, and the effect of artificial shade at Cascajilloso beach, a newly inhabited nesting site in Pacific Panama,” *Marine Ecology*, 44(6). Available at: <https://doi.org/10.1111/maec.12773>.
- Goronczy, E.E. (2021) “What Is Light Pollution?,” in *Light Pollution in Metropolises*. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-29723-7>.
- Grubisic, M. & van Grunsven, R.H. (2021) “Artificial light at night disrupts species interactions and changes insect communities,” *Current Opinion in Insect Science*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.06.007>.
- Hall, D.T. (2022) “Semi-Empirical Astronomical Light Pollution Evaluation of Satellite Constellations,” *Journal of the Astronautical Sciences*, 69(6). Available at: <https://doi.org/10.1007/s40295-022-00358-4>.
- Hannachi, E. & Slimani, Y. (2022) “Source, Impact, and Perspective of Light Pollution,” in *Source, Impact, and Perspective of Light Pollution*. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781003185109-4>.
- Hearnshaw, J. (2024) “Light Pollution and the Future of Space Science and Astronomy,” pp. 259–271. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-981-97-0714-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-97-0714-0_12).
- IAU (2020) *Light Pollution* | IAU. Available at: [https://www-iau-org.translate.google/public/themes/light\\_pollution/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://www-iau-org.translate.google/public/themes/light_pollution/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc) (Accessed: February 25, 2025).
- International Commission for the Protection of the Night Sky (2007) *Declaration in Defence of the Quality of the Night Sky and the Right to Starlight: The La Palma Declaration*. Available at: [https://fundacionstarlight.org/docs/files/33\\_english-declaration-in-defense-of-the-quality-of-the-night-sky-and-the-right-to-starlight.pdf](https://fundacionstarlight.org/docs/files/33_english-declaration-in-defense-of-the-quality-of-the-night-sky-and-the-right-to-starlight.pdf) (Accessed: September 10, 2025).

- Kamei, M. *et al.* (2021) “Effects of replacing outdoor lighting with white LEDs with different correlated color temperatures on the attraction of nocturnal insects,” *Applied Entomology and Zoology*, 56(2). Available at: <https://doi.org/10.1007/s13355-021-00729-7>.
- Khorram, A., Yusefi, M. & Keykha, S. (2014) “Light Pollution, a World Problem,” *Health Scope*, 3(4). Available at: <https://doi.org/10.17795/jhealthscope-24065>.
- Kumar, V. *et al.* (2024) “Observations on the Effect of Artificial Lights on Foraging Behaviour of Greater Shot-Nosed Fruit Bat, *Cynopterus sphinx* (Vahl, 1797) in Babasaheb Bhimrao Ambedkar University Campus, Lucknow, India,” *Records of the Zoological Survey of India*, 124, pp. 547–564. Available at: <https://doi.org/10.26515/RZSI/V124/I1S/2024/172761>.
- Kyba, C.C.M. *et al.* (2017) “Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent,” *Science Advances*, 3(11). Available at: [https://doi.org/10.1126/SCIADV.1701528/SUPPL\\_FILE/1701528\\_SM.PDF](https://doi.org/10.1126/SCIADV.1701528/SUPPL_FILE/1701528_SM.PDF).
- Luarte, T. *et al.* (2016) “Light pollution reduces activity, food consumption and growth rates in a sandy beach invertebrate,” *Environmental Pollution*, 218, pp. 1147–1153. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2016.08.068>.
- Marangoni, L.F.B. *et al.* (2022) “Impacts of artificial light at night in marine ecosystems—A review,” *Global Change Biology*, 28(18). Available at: <https://doi.org/10.1111/gcb.16264>.
- Menéndez-Velázquez, A., Morales, D. and García-Delgado, A.B. (2022) “Light Pollution and Circadian Misalignment: A Healthy, Blue-Free, White Light-Emitting Diode to Avoid Chronodisruption,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), pp. 1849–1849. Available at: <https://doi.org/10.3390/IJERPH19031849>.
- Ministerio de Ambiente (2023) “Principales problemas ambientales de Panamá.” in. Panamá: Dirección Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas.
- Mu, H. *et al.* (2021) “Evaluation of light pollution in global protected areas from 1992 to 2018,” *Remote Sensing*, 13(9). Available at: <https://doi.org/10.3390/rs13091849>.

- Muñoz Ccuro, F.E. *et al.* (2024) “Impact of Light Pollution on Human Rights and Biodiversity,” *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 13(1), p. 402. Available at: <https://doi.org/10.36941/ajis-2024-0030>.
- Owens, A.C.S. *et al.* (2020) “Light pollution is a driver of insect declines,” *Biological Conservation*, 241, p. 108259. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2019.108259>.
- Pino, M. (2016) *Diagnóstico del nivel de Contaminación Lumínica que presenta la comunidad de Llano Marín a causa del alumbrado público*. Universidad de Panamá.
- Pothukuchi, K. (2023) “Mitigating urban light pollution: A review of municipal regulations and implications for planners,” *Journal of Urban Affairs* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1080/07352166.2023.2247506>.
- Rajkhowa, R. (2012) “Light Pollution and Impact of Light Pollution,” *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online Impact Factor, 3(10)*.
- Redzuan, M. *et al.* (2017) “Spatial Model of Sky Brightness Magnitude in Langkawi Island, Malaysia,” *Research in Astronomy and Astrophysics*, 17(4). Available at: <https://doi.org/10.1088/1674-4527/17/4/37>.
- Rep. Sherrill, M. [D-N.-11] (2024) “Text - H.R.9409 - 118th Congress (2023-2024): DoD Dark Sky Stewardship Act.” Available at: <https://www.congress.gov/bill/118th-congress/house-bill/9409/text> (Accessed: September 6, 2025).
- Rueda-Espinosa, K.J. *et al.* (2023) “Illuminating the threat: a decade-long analysis of light pollution in Colombian main urban centers through satellite imagery,” *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 47(183), pp. 242–258. Available at: <https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.1867>.
- Srivastava, M. *et al.* (2022) “Light Pollution: Adverse Health Impacts,” in *Light Pollution: Adverse Health Impacts*. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781003185109-6>.
- Stewart, R.F., B.O.J. & M.A. (1965) “Formal planning: The staff planner’s role at start up (No. 250).”

- Varela Perez, A.M. (2023) “The increasing effects of light pollution on professional and amateur astronomy,” *Science*. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.adg0269>.
- Visuette, V. (2024) *La luz artificial y su efecto en la calidad del cielo nocturno en comunidades de Panamá Oeste*. Universidad de Panamá.
- Zamorano Calvo, J. *et al.* (2015) *REECL SQM network | Red española de estudios sobre la contaminación lumínica*. Available at: <https://guaix.fis.ucm.es/reectl/SQM-REECL> (Accessed: June 26, 2024).
- Zhang, G. *et al.* (2019) “Spectral optimization of color temperature tunable white LEDs with red LEDs instead of phosphor for an excellent IES color fidelity index,” *OSA Continuum*, 2(4). Available at: <https://doi.org/10.1364/osac.2.001056>.
- Zhang, Y. & Cheng, L. (2023) “Evaluation Model of Location Light Pollution Level based on Analytic Hierarchy Process and Entropy Weight Method,” in *E3S Web of Conferences*. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339303035>.
- Zhao, G. & Fu, X. (2023) “Construction of A Light Pollution Evaluation System Based on Subjective and Objective Integration Empowerment,” *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 59. Available at: <https://doi.org/10.54097/hset.v59i.10092>.

## ANEXO

### Cuadro 3.

*Documentos revisados y clasificados por categoría temática. Elaboración del equipo de investigación a partir de la revisión bibliográfica.*

| Nº | Autor(es)                        | Año  | Tipo de documento | Área temática            | Título   |
|----|----------------------------------|------|-------------------|--------------------------|--|
| 1  | Owens et al.                     | 2020 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Light pollution is a driver of insect declines   |
| 2  | Falcón, J et al.                 | 2020 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Exposure to artificial light at night and the consequences for flora, fauna, and ecosystems. |
| 3  | Arizaga Medina & Cárdenas Pasato | 2020 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Efecto de la luz artificial en la anidación de tortugas marinas                              |
| 4  | Flores & De la Cruz              | 2023 | Artículo (Panamá) | Biodiversidad y Ecología | Nesting activity of <i>Lepidochelys olivacea</i>   |
| 5  | Luarte et al.                    | 2016 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Light pollution reduces activity   |
| 6  | Marangoni et al.                 | 2022 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Impacts of artificial light at night in marine ecosystems                                    |
| 7  | Grubisic & van Grunsven          | 2021 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Artificial light at night disrupts species interactions                                      |
| 8  | Jung & Kalko                     | 2010 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Where forest meets urbanization  |
| 9  | Kamei et al.                     | 2021 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Effects of replacing outdoor lighting  |
| 10 | Kumar et al.                     | 2024 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Effect of artificial lights on foraging behaviour of bats                                    |
| 11 | Pauwels                          | 2019 | Artículo          | Biodiversidad y Ecología | Light pollution & biodiversity   |
| 12 | Valdés et al.                    | 2022 | Artículo          | Salud Humana             | Blue-free WLEDs to avoid chronodisruption  |
| 13 | Cao et al.                       | 2023 | Artículo          | Salud Humana             | Health threats and regulations   |
| 14 | Assad, Fatma & Kumar             | 2022 | Artículo          | Salud Humana             | Health impacts/risks of light pollution  |
| 15 | Dufier & Touitou                 | 2022 | Artículo          | Salud Humana             | Pollution lumineuse  |
| 16 | Falchi et al.                    | 2011 | Artículo          | Salud Humana             | Limiting the impact of light pollution   |
| 17 | Muñoz Ccuro et al.               | 2024 | Artículo          | Salud Humana             | Light pollution, human rights and biodiversity   |
| 18 | Kyba et al.                      | 2017 | Artículo          | Urbanismo                | Artificially lit surface of Earth at night   |
| 19 | Falchi et al.                    | 2019 | Artículo          | Urbanismo                | Light pollution in USA and Europe  |

|    |                        |      |                |                          |  |
|----|------------------------|------|----------------|--------------------------|--|
| 20 | Pino                   | 2016 | Tesis (Panamá) | Urbanismo                | Diagnóstico de la contaminación lumínica en Llano Marín          |
| 21 | Visuette               | 2024 | Tesis (Panamá) | Urbanismo                | La luz artificial y su efecto en la calidad del cielo nocturno   |
| 22 | Rueda-Espinosa et al.  | 2023 | Artículo       | Urbanismo                | Illuminating the threat  |
| 23 | Mayer-Pinto et al.     | 2022 | Artículo       | Urbanismo                | Light pollution: a landscape-scale issue                         |
| 24 | Chen                   | 2023 | Artículo       | Urbanismo                | Light pollution risk assessment                                  |
| 25 | Elsahragty & Kim       | 2015 | Artículo       | Urbanismo                | Assessment and strategies to reduce light pollution using GIS    |
| 26 | Falchi et al.          | 2016 | Artículo       | Astronomía               | The new world atlas of artificial night sky brightness           |
| 27 | Kocifaj et al.         | 2014 | Artículo       | Astronomía               | Particulate matter as an amplifier                               |
| 28 | Hall                   | 2022 | Artículo       | Astronomía               | Astronomical evaluation of satellite constellations              |
| 29 | Hearnshaw              | 2024 | Artículo       | Astronomía               | Light pollution and the future of space science                  |
| 30 | Varela Perez           | 2023 | Artículo       | Astronomía               | Effects of light pollution on professional and amateur astronomy |
| 31 | Koller-Thompson et al. | 2020 | Artículo       | Astronomía               | Light pollution from satellites                                  |
| 32 | Zamorano Calvo et al.  | 2015 | Artículo       | Astronomía               | REECL SQM network  |
| 33 | Cinzano                | 2004 | Artículo       | Astronomía               | Portable spectrophotometer                                       |
| 34 | Mu et al.              | 2021 | Artículo       | Modelos de Detección     | Evaluation of light pollution in global protected areas          |
| 35 | Dizon-Paradis et al.   | 2022 | Artículo       | Modelos de Detección     | Light pollution monitoring using IoT platform                    |
| 36 | Redzuan et al.         | 2017 | Artículo       | Modelos de Detección     | Spatial model of sky brightness                                  |
| 37 | Galatanu               | 2017 | Artículo       | Modelos de Detección     | Luminance measurements   |
| 38 | Fang et al.            | 2023 | Artículo       | Modelos de Detección     | Light Pollution Index System Model                               |
| 39 | Zhao & Fu              | 2023 | Artículo       | Modelos de Detección     | Light pollution evaluation system                                |
| 40 | Wang et al.            | 2023 | Artículo       | Modelos de Detección     | Research Light Pollution based on EWM                            |
| 41 | Zhang et al.           | 2019 | Artículo       | Modelos de Detección     | Spectral optimization of LEDs                                    |
| 42 | Alva et al.            | 2023 | Artículo       | Regulaciones y Políticas | Dark Sky Parks   |
| 43 | Pothukuchi             | 2023 | Artículo       | Regulaciones y Políticas | Mitigating urban light pollution                                 |

|    |                        |      |                         |                          |  |
|----|------------------------|------|-------------------------|--------------------------|--|
| 44 | DoD                    | 2024 | Documento               | Regulaciones y Políticas | Dark Sky Stewardship Act (EE.UU.)                  |
| 45 | Ministerio de Ambiente | 2022 | Documento (Panamá)      | Regulaciones y Políticas | Guía de Legislación Ambiental de Panamá            |
| 46 | ASEP                   | 2019 | Documento (Panamá)      | Regulaciones y Políticas | Reglamento de alumbrado público                    |
| 47 | Ministerio de Ambiente | 2023 | Documento (Panamá)      | Regulaciones y Políticas | Principales problemas ambientales de Panamá        |
| 48 | Marin                  | 2009 | Artículo                | Regulaciones y Políticas | Starlight: a common heritage                       |
| 49 | IAU                    | 2020 | Documento Internacional | Regulaciones y Políticas | Light Pollution                                    |
| 50 | Rajkhowa               | 2012 | Artículo                | Regulaciones y Políticas | Light Pollution and Impact                         |
| 51 | Srivastava et al.      | 2022 | Artículo                | Regulaciones y Políticas | Approaches for Light Pollution Prevention          |
| 52 | Hannachi & Slimani     | 2022 | Artículo                | Regulaciones y Políticas | Source, impact, and perspective of light pollution |
| 53 | Falchi et al.          | 2023 | Artículo                | Regulaciones y Políticas | Light pollution indicators for observatories       |

#### **Cuadro 4.**

*Radiancia anual nocturna de Panamá (2012–2024) según datos VIIRS.*

| Año  | Radiancia ( $10^3 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ) | PIB (MM USD) |
|------|--|--------------|
| 2012 | 91.248   | 40.43        |
| 2013 | 105.467  | 45.60        |
| 2014 | 108.202  | 49.92        |
| 2015 | 114.780  | 54.09        |
| 2016 | 117.362  | 57.91        |
| 2017 | 125.972  | 62.20        |
| 2018 | 131.478  | 67.29        |
| 2019 | 134.746  | 69.72        |
| 2020 | 127.649  | 57.09        |
| 2021 | 123.046  | 67.41        |
| 2022 | 140.878  | 76.52        |
| 2023 | 169.376  | 83.38        |

Fuente: Radiancia: Light Pollution Map (<https://www.lightpollutionmap.info>). PIB: Banco Mundial (World Bank Data). Elaboración del equipo de investigación (2024).