



UNIVERSIDAD VIÑA DEL MAR

FACULTAD DE INGENIERÍA, NEGOCIOS Y CIENCIAS AGROAMBIENTALES

MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

TÍTULO DE LA PROPUESTA:

**“VACÍOS DEL MARCO LEGAL CHILENO PARA ABORDAR
LOS IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA SOBRE
LA BIODIVERSIDAD ALTOANDINA EN EL NORTE DE CHILE”**

INFORME DE ANTEPROYECTO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)

MAGISTRANTE: ELIZABETH DEL CARMEN SANHUEZA OLIVA

ACADÉMICA GUÍA: NATACHA SOUZA JOHN

Este Proyecto de Título del Magíster en Gestión Ambiental lo dedico a todas las personas que creyeron en mí. En especial, a mi mamá, a mi hermana y a aquellos seres queridos que, aunque no estén físicamente, permanecen presentes y los llevo siempre en mi corazón.

Quiero destacar el esfuerzo, la constancia y la disciplina que he puesto cada día en mi formación profesional, y que hoy me permiten culminar este trabajo final de grado.

Con orgullo puedo decir: “Todo esfuerzo vale la pena cuando se trata de cumplir un sueño.”

¡Éxito! Lo mejor ya ha llegado.

Elizabeth Sanhueza Oliva

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad de Viña del Mar, institución que confió en mi potencial desde el comienzo y que, mediante la Beca de Excelencia Académica, me brindó la oportunidad de cursar el Magíster en Gestión Ambiental.

Agradezco igualmente a Dios y a mi familia: a mi mamá, mi hermana, mi papá y a mi amada Lulú. Su apoyo incondicional, su compañía y sus palabras en los momentos más complejos fueron un pilar esencial en este proceso formativo. Cuando inicié este proyecto tenía claridad sobre el tema que deseaba abordar; sin embargo, con el transcurso del tiempo fue tomando forma, evolucionando y consolidándose hasta convertirse en el trabajo que hoy presento. De manera casi natural, este estudio se transformó en una prolongación del proyecto final de mi carrera de Ingeniería en Prevención de Riesgos.

El origen de esta línea de investigación se remonta a mi experiencia laboral en el Observatorio AURA Inc., ubicado en el Cerro Tololo, Región de Coquimbo. En ese entorno, donde la preservación del cielo oscuro es indispensable para la labor astronómica, comprendí la relevancia de la problemática y su estrecha vinculación con la protección de la biodiversidad endémica. Aquella vivencia despertó en mí la inquietud por las brechas existentes en el marco normativo chileno y la urgencia de fortalecer la regulación para salvaguardar adecuadamente los ecosistemas nocturnos.

Finalmente, deseo dedicar unas palabras de especial gratitud a mi amiga Carolina Pino Arredondo. Hace más de una década confió en mis capacidades y me animó a postular a una beca de estudios, apoyo que me permitió obtener mi primer título como Técnico de Nivel Superior en Prevención de Riesgos Laborales. Ese fue el primer paso de un camino que hoy continúa con este nuevo logro. Gracias, infinitas gracias, por creer en mí desde el principio.

Elizabeth Sanhueza Oliva

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTADO DE ABREVIATURAS.....	10
GLOSARIO	11
ABSTRACT	12
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
Objetivo General	19
Objetivos Específicos.....	19
Vinculación de los Objetivos con los ODS	19
Contribuciones principales.....	20
ANTECEDENTES	22
Caracterización del Área Geográfica en Estudio	22
Marco de Referencia Teórico	28
Brechas de conocimiento y posicionamiento del proyecto	29
Marco de Referencia Legal Chileno.....	29
Análisis de aplicabilidad	36
Integración de jurisprudencia y decisiones administrativas	37
METODOLOGÍA.....	38
Diseño del Estudio.....	38
Protocolos e instrumentos	39
Contraste de métodos y justificación del proyecto.....	40
Desarrollo de la observación metodológica: Viabilidad y Adecuación	40
Actividades principales y vinculación directa con los objetivos.....	42
Integración de los ODS	43
Contribución complementaria de los ODS	44
RESULTADOS	49
Comparación y vacíos normativos en Latinoamérica.....	53
Análisis comparativo de la normativa y propuestas de mejora para la Región de Atacama	54
Evidencias normativas complementarias, hallazgos clave como ordenanzas e instrumentos locales en la Región de Atacama.....	55

Análisis comparativo de la gestión local frente a la contaminación lumínica en la Región de Atacama	56
Desglose de la nueva norma lumínica (D.S. N° 1/2022 MMA)	56
Análisis integrado de la vulnerabilidad ecológica, el marco normativo y los lineamientos de gestión frente a la contaminación lumínica en ecosistemas altoandinos del norte de Chile.....	58
DISCUSIONES	61
Interpretación de la pérdida de oscuridad natural	62
Limitaciones detectadas en la aplicación	63
Inferencia.....	63
Normativa sobre contaminación lumínica vinculada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	63
DIAGNÓSTICO.....	67
Diagnóstico General	69
PROPUESTA DE DESARROLLO.....	70
Triangulación	71
Indicadores	72
Controles	72
Francia y su modelo normativo más avanzado a nivel mundial	72
Alemania y su enfoque científico de conservación de especies	73
Finlandia y su modelo ecológico integrado en planificación ambiental	73
Chile como referente normativo en América Latina	73
Australia y su modelo técnico-ecológico para la protección de fauna	74
España y la Unión Europea, marco jurídico sólido con implementación territorial diferenciada	74
Italia con su tradición regional sólida y enfoque técnico en diseño lumínico	75
México, Brasil y Argentina con enfoques fragmentados y heterogéneos en gestión lumínica	75
Comparación internacional de modelos de gestión lumínica y protección de la biodiversidad	77
Vinculación con instrumentos de gestión ambiental vigentes	77
CONCLUSIÓN	80
REFERENCIAS	84
ANEXOS	93

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fuentes lumínicas contaminantes.....	93
Anexo 2. Ubicación del Salar de Atacama y su hidrodinámica regional.....	94
Anexo 3. Mapa de la provincia de El Loa.....	95
Anexo 4. Mapa Comuna de Colchane, cobertura del suelo.....	96
Anexo 5. Mapa Comuna de Ollagüe, cobertura del suelo.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Diagrama de proceso del diseño del estudio.	39
Figura N° 2. Esquema contribución de los ODS al objetivo general del TFG.	45
Figura N° 3. Esquema contribución de los ODS al primer objetivo específico del TFG.....	46
Figura N° 4. Esquema contribución de los ODS al segundo objetivo específico del TFG.....	47
Figura N° 5. Esquema contribución de los ODS al tercer objetivo específico del TFG.....	48

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1. Objetivos y metas de desarrollo sostenible.	21
Imagen N° 2. Mapa región de Atacama.	22
Imagen N° 3. Fauna y flora nativa del norte de Chile.	23
Imagen N° 4. Mapa de contaminación lumínica en áreas protegidas y presencia de observatorios ópticos, 2019.	26
Imagen N° 5. Parque Nacional Lauca	27
Imagen N° 6. Los bofedales: Oasis de vida en el altiplano andino.	27
Imagen N° 7. Cómo la contaminación lumínica altera los sentidos de las plantas.	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Vinculación del TFG con los ODS.	21
Tabla N° 2. Resumen de los principales aportes del skyglow para el ecosistema.	24
Tabla N° 3. Matriz normativa sintética para la gestión de contaminación lumínica con énfasis en biodiversidad altoandina.	31
Tabla N° 4. Matriz normativa sintética de Contaminación lumínica y protección de biodiversidad.	34
Tabla N° 5. Criterios de Inclusión y Exclusión de Documentos.	41
Tabla N° 6. Criterios para la Selección de Capas SIG Utilizadas en el Análisis Espacial	41
Tabla N° 7. legislación sobre contaminación lumínica y protección de la biodiversidad de otros países. .	50
Tabla N° 8. Comparación y vacíos normativos en Latinoamérica.	53
Tabla N° 9. Tabla comparativa de ordenanzas municipales en la Región de Atacama.	55
Tabla N° 10. Normas, resoluciones administrativas y RCAs en Chile con medidas lumínicas vigentes.	61
Tabla N° 11. ODS relacionados (número y descripción) pertinentes a cada país.	64
Tabla N° 12. ODS directamente vinculados con la contaminación lumínica	66
Tabla N° 13. Tabla explicativa con la protección de la biodiversidad y el medio ambiente.	67
Tabla N° 14. Resumen comparativo de normas internacionales y nacionales.	76
Tabla N° 15. Vinculación de la propuesta con instrumentos de gestión ambiental vigentes en Chile.	78

LISTADO DE ABREVIATURAS

ALAN: Artificial Light at Night (Luz Artificial Nocturna)
CAL: Contaminación Artificial de la Luz
CBA: Componente de Biodiversidad Afectada
CEAZA: Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas
CIE: Comisión Internacional de Iluminación
DIA: Declaración de Impacto Ambiental
EIA: Estudio de Impacto Ambiental
GIS / SIG: Geographic Information System / Sistema de Información Geográfica
IA: Impacto Ambiental
INE: Instituto Nacional de Estadísticas
IPN: Iluminación Pública Nocturna
LED: Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz)
MMA: Ministerio del Medio Ambiente
NCh: Norma Chilena
ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU: Organización de las Naciones Unidas
PDA: Plan de Descontaminación Atmosférica
PGA: Plan de Gestión Ambiental
RCAs: Resoluciones de Calificación Ambiental
SEA: Servicio de Evaluación Ambiental
SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SMA: Superintendencia del Medio Ambiente
UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

GLOSARIO

Artificial Light at Night (ALAN): Término utilizado internacionalmente para referirse a la luz artificial emitida durante la noche y sus efectos ecológicos, astronómicos y sociales.

Biodiversidad nocturna: Conjunto de especies y procesos ecológicos que dependen de la oscuridad natural para desarrollar funciones vitales, como alimentación, reproducción o migración.

Cielo oscuro: Condición ambiental caracterizada por bajos niveles de iluminación artificial, que permite la observación astronómica y la mantención de ciclos ecológicos nocturnos.

Contaminación lumínica: Alteración del ambiente nocturno producto del uso inadecuado o excesivo de luz artificial, que afecta ecosistemas, salud humana, eficiencia energética y observación astronómica.

Eficiencia energética: Uso racional de energía para obtener un determinado servicio lumínico con el menor consumo posible, sin afectar estándares mínimos de iluminación.

Ecosistemas altoandinos: Sistemas ecológicos ubicados en zonas de gran altitud en el norte de Chile, caracterizados por condiciones extremas y alta sensibilidad a perturbaciones ambientales.

Evaluación de Impacto Ambiental (EIA): Procedimiento formal para identificar, prever y mitigar los impactos ambientales de proyectos o actividades sometidas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Fiscalización ambiental: Acciones desarrolladas por organismos como la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) para verificar el cumplimiento de normativas y condiciones ambientales.

Luz intrusa: Iluminación no deseada que se proyecta hacia áreas donde no es requerida, afectando hogares, ecosistemas o actividades específicas.

Norma lumínica: Conjunto de regulaciones que establece límites y requisitos técnicos para la emisión de luz artificial, con el fin de evitar la contaminación lumínica.

Resplandor del cielo (Skyglow): Brillo difuso en el cielo nocturno causado por la dispersión de luz artificial en la atmósfera, que reduce la visibilidad astronómica y altera condiciones naturales de oscuridad.

Ritmos circadianos: Ciclos biológicos de aproximadamente 24 horas que regulan funciones vitales en humanos, animales y plantas, y que pueden ser perturbados por la iluminación artificial nocturna.

Umbral lumínico: Nivel máximo permitido de emisión lumínica según la normativa vigente para prevenir afectaciones al ambiente nocturno.

SANHUEZA, Elizabeth. **Gaps in the Chilean Legal Framework for Addressing the Impacts of Light Pollution on High-Andean Biodiversity in Northern Chile.** Viña del Mar University. Faculty of Engineering, Business, and Agro-Environmental Sciences. Master's Program in Environmental Management. Viña del Mar. 2025.

ABSTRACT

This study offers a comprehensive analysis of the issue of light pollution in Chile, with an emphasis on the Atacama Region and the high-Andean ecosystems of northern Chile, where natural darkness constitutes a critical resource for biodiversity and for national astronomical development. Based on an exhaustive review of the current legal framework—particularly Supreme Decree No. 1/2022 of the Ministry of the Environment and its associated protocols—the findings reveal that although Chilean regulations are technically advanced, significant gaps persist regarding territorial implementation, enforcement, and institutional coordination. Most municipalities approach the issue from an urban or energy-efficiency perspective, without integrating ecological impacts or establishing specific measures that translate national standards into local contexts.

The Final Degree Project incorporates a comparative analysis of municipal ordinances, Environmental Qualification Resolutions, local instruments, and international experiences, which enabled the identification of regulatory gaps, opportunities for improvement, and the absence of nighttime governance mechanisms. Additionally, preliminary spatial inputs were developed using GIS, including light-sensitivity maps and a synthetic regulatory matrix summarizing the applicability, scope, and weaknesses of each legal instrument.

From an ecological perspective, the research shows that artificial light at night alters biological rhythms, movement patterns, and trophic interactions of high-Andean species, generating additional environmental pressure on already vulnerable systems. The lack of nocturnal biodiversity baselines and mandatory indicators in environmental assessment processes increases uncertainty regarding actual impacts.

The study concludes that advancing toward sustainable management requires integrating light pollution into territorial planning, strengthening ecological monitoring, improving interinstitutional coordination, and recognizing natural darkness as an essential element for biodiversity conservation and ecosystem resilience.

Keywords: Light pollution; High-Andean ecosystems; Nocturnal biodiversity; Environmental regulation; Skyglow; Sustainable territorial management.

SANHUEZA, Elizabeth. **Vacíos del marco legal chileno para abordar los impactos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad altoandina en el norte de Chile.** Universidad de Viña del Mar. Facultad de Ingeniería, Negocios y Ciencias Agroambientales. Magíster en Gestión Ambiental. Viña del Mar. 2025.

RESUMEN

Se analiza integralmente la problemática de la contaminación lumínica en Chile, con énfasis en la Región de Atacama y en los ecosistemas altoandinos del norte del país, donde la oscuridad natural constituye un recurso crítico para la biodiversidad y para el desarrollo astronómico nacional. A partir de una revisión exhaustiva del marco jurídico vigente, especialmente el Decreto Supremo N° 1/2022 del Ministerio del Medio Ambiente y sus protocolos asociados. Se evidencia que, si bien la normativa chilena es avanzada en términos técnicos, persisten brechas significativas en su implementación territorial, fiscalización y articulación institucional. La mayoría de las municipalidades aborda la temática desde una perspectiva urbana o de eficiencia energética, sin integrar los efectos ecológicos ni establecer medidas específicas que traduzcan los estándares nacionales a escalas locales.

El Trabajo Final de Grado incorpora un análisis comparado de ordenanzas comunales, Resoluciones de Calificación Ambiental, instrumentos locales y experiencias internacionales, lo que permitió identificar vacíos regulatorios, oportunidades de mejora y la ausencia de mecanismos de gobernanza nocturna. Asimismo, se observaron insumos espaciales preliminares mediante SIG, mapas de sensibilidad lumínica y una matriz normativa sintética que resume la aplicabilidad, alcance y debilidades de cada instrumento jurídico.

Desde la perspectiva ecológica, la investigación evidencia que la luz artificial nocturna altera ritmos biológicos, patrones de desplazamiento y relaciones tróficas de especies altoandinas, generando una presión ambiental adicional en sistemas ya vulnerables. La falta de líneas base de biodiversidad nocturna y de indicadores obligatorios en procesos de evaluación ambiental profundiza la incertidumbre sobre los impactos reales.

La investigación concluye que avanzar hacia una gestión sostenible y sustentable requiere incorporar la variable lumínica en la planificación territorial, fortalecer el monitoreo ecológico, mejorar la coordinación interinstitucional y reconocer la oscuridad como un elemento esencial para la conservación de la biodiversidad y la resiliencia ecosistémica.

Palabras claves: Contaminación lumínica; Ecosistemas altoandinos; Biodiversidad nocturna; Normativa ambiental; Skyglow; Gestión territorial sostenible.

INTRODUCCIÓN

La contaminación lumínica, entendida como la alteración del ambiente nocturno natural provocada por un uso excesivo, inadecuado o mal dirigido de la luz artificial, se ha configurado como una amenaza ambiental creciente, silenciosa y muchas veces invisibilizada dentro de las políticas de conservación. Aunque históricamente abordada desde la astronomía, estudios recientes demuestran su impacto adverso sobre los ecosistemas naturales, especialmente en aquellos donde la oscuridad nocturna cumple una función ecológica esencial, como los tipos de ecosistemas altoandinos del norte de Chile.

En sectores ubicados a 3.000msnm, coexisten condiciones climáticas extremas y una biodiversidad altamente endémica. Flora y fauna han evolucionado bajo ciclos muy definidos de luz y oscuridad, por lo tanto, cualquier alteración artificial de ese equilibrio puede desestabilizar procesos ecológicos fundamentales como la reproducción, la polinización, la alimentación, la navegación y los ritmos circadianos. Por ejemplo, estudios demuestran que la luz azul dispersa afecta especialmente a insectos polinizadores, cruciales para la reproducción vegetal y la cadena alimentaria, provocando desorientación en aves migratorias, con impactos relevantes sobre su supervivencia (Equipo Digital, 2024) (Noticias UdeC, 2024). El fenómeno se agrava en el norte de Chile debido a la expansión de actividades humanas intensivas, como minería, turismo, desarrollo urbano y energía, que han incrementado de manera sostenida la presencia de luz artificial nocturna en zonas previamente dominadas por la oscuridad natural. Esta presión antrópica presenta desafíos de conservación complejos, en particular porque no existen mecanismos regulatorios robustos que consideren la dimensión ecológica de la contaminación lumínica.

En materia normativa, Chile ha avanzado a través del Decreto Supremo N° 1/2022, que “Establece norma de emisión de luminosidad artificial generada por alumbrados de exteriores, elaborada a partir de la revisión del Decreto Supremo N° 43, de 2012”, del Ministerio del Medio Ambiente. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022a). Actualiza la antigua regulación lumínica y amplía su alcance a nivel nacional. Esta nueva norma reconoce explícitamente la biodiversidad y la salud humana como objetos de protección, además de preservar la calidad del cielo nocturno para la astronomía. Se establecen límites en la emisión de luz azul, reduciéndola del 15% al 7% en todo el país, y al 1% en áreas de protección especial, como son las áreas astronómicas, áreas protegidas para biodiversidad y zonas de reproducción identificadas por el plan de Recuperación, Conservación y Gestión de Especies (Plan RECOGE). (Ministerio del Medio Ambiente, 2025) (Ministerio del Medio Ambiente, 2024a).

En el año 2024 en el mes de octubre, entra en vigencia esta nueva norma, sin embargo, su implementación varía según el tipo de fuente y su ubicación. En áreas astronómicas y zonas críticas para la biodiversidad, se exige cumplimiento inmediato o con plazos acotados, mientras que, en el resto del territorio, la aplicación puede ocurrir durante el ciclo de recambio de luminarias, con plazos que se extienden hasta el año 2026 o incluso más. (Fundación Cielos de Chile, 2025) (Ministerio del Medio Ambiente, 2024b).

Se propone examinar el marco legal existente, identificar las brechas concretas en su aplicación y diseñar propuestas que permitan integrar la luz artificial nocturna como variable ambiental crítica en la planificación territorial, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y los instrumentos de conservación, especialmente en ecosistemas altoandinos del norte de Chile.

La falta de integración de criterios lumínicos en instrumentos como el SEIA impide que proyectos con potencial de generar afectaciones relevantes a la fauna y flora nocturna sean evaluados adecuadamente en términos ecológicos. En la práctica, esto significa que actividades como la minería, la instalación de parques industriales, el desarrollo turístico y la expansión urbana pueden aprobarse sin un análisis exhaustivo de sus emisiones de luz, ni de los efectos acumulativos que estas provocan sobre los ciclos biológicos de las especies altoandinas. Esta brecha se agrava por la ausencia de metodologías estandarizadas para medir y reportar la contaminación lumínica en contextos de alta montaña, así como por la limitada fiscalización en territorios remotos. En consecuencia, los impactos lumínicos permanecen subestimados y poco documentados, lo que dificulta la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas de manejo adaptadas a la realidad ecológica de estos ecosistemas sensibles.

Además, el impacto de la luz artificial nocturna sobre la biodiversidad en los ecosistemas altoandinos del norte de Chile tiene fundamentos científicos sólidos y evidencia empírica que refuerza la necesidad de incorporar medidas específicas en el marco legal. La escotobiología, la disciplina enfocada en el estudio biológico de la oscuridad, ha demostrado que numerosos procesos ecológicos fundamentales, como el comportamiento de forrajeo (conducta para conseguir alimento), los ritmos circadianos y la polinización, se ven severamente alterados con la presencia de iluminación artificial, afectando animales, plantas, insectos y microorganismos por igual. En particular, los insectos polinizadores sufren un comportamiento de hiperestimulación conocido como vuelo hacia la luz, que incluye efectos de cautividad, barreras migratorias y alteraciones fisiológicas, lo cual repercute en la salud de los ecosistemas al impactar todo el sistema trófico, poniendo en riesgo la polinización y la reproducción vegetal, lo que evidencia la propagación de estos efectos ecológicos más allá del periodo nocturno. (Giavi, Fontaine & Knop, 2021). Esta problemática no se limita a teoría de estudios recientes en zonas representativas del norte del país, revelan que la calidad del cielo natural ya ha sido significativamente alterada, incluso en áreas remotas. Una campaña de caracterización espectrofotométrica en la Región de Coquimbo detectó niveles de contaminación lumínica comparables a los de ciudades que se autodefinen como Dark Sky. (DarkSky International, 2025a).

Un ejemplo que revela la falta de resguardo hacia la biodiversidad altoandina es el Proyecto Integrado de Infraestructura Energética para la Generación de Hidrógeno y Amoníaco Verde (INNA) de AES Andes. El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) solicitó reevaluar su emplazamiento por los impactos ambientales que generaría en un ecosistema frágil, mientras que el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) se pronunció sobre el término anticipado del proyecto. Esta iniciativa industrial, con una superficie cercana a 3 mil hectáreas, contempla el uso de energía solar y eólica junto con una planta desaladora para abastecer de agua, y pretende instalarse a tan solo 5 a 11 km del Observatorio Paranal. La magnitud de sus intervenciones implicaría una fuerte presión sobre los hábitats altoandinos, poniendo en riesgo especies adaptadas a condiciones extremas y alterando procesos ecológicos esenciales como la

disponibilidad de agua y la conectividad de corredores biológicos. Aunque organismos como la Sociedad Chilena de Astronomía (SOCHIAS) y el Observatorio Europeo Austral (ESO) han alertado sobre el peligro que representa para la calidad de los cielos oscuros, este caso refleja de manera más amplia las limitaciones de la normativa vigente para enfrentar los efectos de megaproyectos en territorios de alto valor ecológico. Al fin de cuenta la normativa se ha orientado preferentemente a resguardar las condiciones de observación astronómica, lo que pone en evidencia un vacío regulatorio respecto de la biodiversidad endémica altoandina, cuyo valor ecológico y científico no recibe aún la misma consideración en las políticas ambientales. (BioBioChile, 2025a) (BioBioChile, 2025b) (Cabrera, 2025).

El MMA también manifestó sus observaciones críticas respecto al Estudio de Impacto Ambiental (EIA) presentado por AES Andes para el proyecto INNA, al identificar deficiencias significativas en su evaluación. En particular, se cuestiona la ausencia de un análisis riguroso de los impactos lumínicos y de sus efectos acumulativos, elementos fundamentales dada la magnitud del proyecto y su proximidad a un área de relevancia astronómica y ecológica. La omisión de estos aspectos no solo limita la capacidad de dimensionar adecuadamente las externalidades ambientales, sino que también dificulta el diseño de medidas de mitigación efectivas. En este sentido, la omisión de los impactos sobre el cielo nocturno y los ecosistemas altoandinos asociados evidencia vacíos metodológicos en la evaluación ambiental, lo que refuerza la necesidad de fortalecer los estándares técnicos y normativos aplicables a megaproyectos en territorios de alto valor ambiental. En particular, estudios recientes señalan que existen serias inconsistencias en los instrumentos y parámetros de medición de luz artificial nocturna, especialmente en fenómenos como el resplandor del cielo (skyglow), lo que dificulta el diseño de evaluaciones comparables y confiables en contextos ecológicamente sensibles. (Bakner, Mayer-Pinto, Jones, Swearer, Robert, 2022).

Todo lo anterior evidencia un problema estructural en la normativa ambiental chilena, que se ha centrado principalmente en proteger el cielo nocturno con fines astronómicos, sin considerar de manera adecuada los impactos ecológicos y acumulativos de la iluminación artificial en territorios frágiles. Esta omisión genera vacíos regulatorios que dificultan acciones preventivas, protocolos estandarizados de medición y mecanismos de control efectivos, dejando a la biodiversidad endémica altoandina subestimada y vulnerable. El caso del proyecto INNA resalta la urgencia de fortalecer los instrumentos legales y de gestión, incorporando la conservación de la biodiversidad como un eje central en la evaluación y aprobación de megaproyectos en ecosistemas estratégicos.

Por otra parte, la gobernanza ambiental en Chile presenta dispersión de competencias y una coordinación limitada entre las instituciones clave lo que dificulta abordar de manera integral problemáticas como la contaminación lumínica. El MMA, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), el SEA, el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) y las municipalidades cuentan con atribuciones que podrían complementar la gestión de esta problemática, pero no existe un marco operativo que articule sus esfuerzos, facilite el intercambio de información, establezca responsabilidades claras en fiscalización y seguimiento. Esta fragmentación institucional, junto con la limitada capacitación técnica de los equipos regionales, genera vacíos de control, especialmente en zonas aisladas donde la instalación de nuevas fuentes lumínicas puede pasar inadvertida durante años. Ante este escenario,

resulta urgente no solo fortalecer la normativa vigente, sino también implementar mecanismos de gobernanza colaborativa que permitan prevenir y mitigar de manera efectiva los impactos de la luz artificial sobre la biodiversidad altoandina. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022b).

La presente investigación del Trabajo Final de Grado (TFG) se desarrolla en un momento particularmente propicio para abordar la contaminación lumínica desde una perspectiva ecológica y territorial, presentándose la oportunidad de tratar un tema ambiental emergente, con escasa exploración académica en el contexto chileno, lo que confiere al estudio un carácter innovador y de alto potencial para la generación de nuevo conocimiento. El reciente fortalecimiento del marco regulatorio, con la promulgación del Decreto Supremo N° 1/2022 y la Ley N° 21.162/2019 “Modifica la ley N° 19.300, que aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente, para exigir la elaboración de un estudio de impacto ambiental en los proyectos que puedan generar contaminación lumínica en las zonas que indica”, del Ministerio del Medio Ambiente (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2019), ofrece una base legal incipiente, pero en expansión que puede ser analizada y perfeccionada. Además, el norte de Chile representa un territorio estratégico a nivel global, no solo por la excepcional calidad de sus cielos nocturnos, atractivo para la astronomía y el turismo científico, sino también por la singularidad y fragilidad de su biodiversidad altoandina (Subsecretaría de Turismo del Gobierno de Chile, 2024). Este doble valor ambiental amplifica la relevancia de la investigación, abriendo oportunidades para generar sinergias entre instituciones científicas, comunidades locales y organismos ambientales.

La contaminación lumínica constituye un desafío ambiental global creciente, cuya gravedad ha sido reconocida tanto en la literatura científica como en políticas públicas. En este contexto, los Lineamientos Nacionales sobre Contaminación Lumínica para la Vida Silvestre del Gobierno de Australia (Departamento de Cambio Climático, Energía, Medio Ambiente y Agua. Australia, 2023), presentan un marco normativo y técnico sólido, respaldado por la Convención sobre la Conservación de Especies Migratorias (CMS) en febrero de 2020 (Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres, 2024). Donde establece principios y herramientas para evaluar y mitigar los impactos de la iluminación artificial. Su enfoque, actualizado para incluir la biodiversidad, enfatiza el diseño de iluminación de mejores prácticas, evaluaciones de impacto ambiental y estrategias adaptativas que equilibran la seguridad humana con la conservación de procesos ecológicos vitales. Esto ofrece a Chile una base teórica robusta que puede ser adaptada a su realidad nacional, no solo fortalece el desarrollo de un marco conceptual propio, sino que también facilita la formulación de propuestas normativas pertinentes y de alto impacto para los procesos de evaluación ambiental, la planificación territorial y la conservación de ecosistemas vulnerables.

La investigación se justifica por la necesidad urgente de reconocer y regular la contaminación lumínica como un factor de presión ambiental que amenaza directamente la biodiversidad en tipos de ecosistemas altoandinos del norte de Chile. Aunque la legislación vigente incorpora restricciones lumínicas para proteger la observación astronómica, persiste un vacío en la consideración explícita de los impactos sobre especies nocturnas y procesos ecológicos clave, como la polinización nocturna, la orientación migratoria o la reproducción de anfibios y aves. La flora y fauna de estos territorios presenta

adaptaciones específicas a condiciones de baja luminosidad nocturna, por lo que la alteración de este equilibrio lumínico puede desencadenar efectos ecológicos en cascada.

Revisar críticamente el marco normativo, identificar sus vacíos y proponer mejoras se vuelve esencial para avanzar hacia una gestión ambiental preventiva, contextualizada y basada en evidencia científica. El estudio, además, pretende aportar insumos técnicos y normativos que fortalezcan la gobernanza ambiental en el norte de Chile, integrando la conservación ecológica, la regulación territorial y la responsabilidad ambiental frente a amenazas emergentes. (Ministerio del Medio Ambiente, 2024b).

El TFG reconoce limitaciones que condicionan su alcance y que deben ser transparentadas desde el inicio. Una de las principales es la escasa legislación específica en Chile que aborde la contaminación lumínica desde una óptica ecológica, dado que las normativas vigentes se centran principalmente en la protección del cielo oscuro para fines astronómicos. Esto dificulta la vinculación directa entre regulación y conservación de la biodiversidad. Asimismo, la falta de estudios científicos locales que documenten de manera sistemática los efectos de la luz artificial nocturna sobre especies y procesos ecológicos en los tipos de ecosistemas altoandinos limita la base empírica nacional disponible. A esto se suma la dificultad para acceder a datos técnicos actualizados, como mediciones de luminancia, distribución espacial de fuentes lumínicas o registros de especies sensibles, debido a la dispersión y poca sistematización de la información existente. También podrían presentarse restricciones en el acceso a actores clave para entrevistas o levantamiento de datos, especialmente en zonas geográficamente aisladas. Finalmente, la baja visibilidad social y política de la contaminación lumínica como problema ambiental, junto con el tiempo acotado para el desarrollo del trabajo, constituyen factores que podrían influir en la profundidad del análisis.

La indagación adopta un enfoque interdisciplinario, combinando análisis normativo, revisión bibliográfica científica y evaluación contextual para abordar de manera integral los vacíos legales en la gestión de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad altoandina en el norte de Chile. Se privilegia una perspectiva crítica y comparativa que permite identificar no solo las deficiencias del marco jurídico vigente, sino también oportunidades para incorporar avances internacionales y mejores prácticas ambientales. (Fundación Cielos de Chile, 2024).

El alcance del estudio se centra en los tipos de ecosistemas altoandino de la región de Atacama, sectores ubicados a 3.000msnm, en el altoandino del norte de Chile, considerando la biodiversidad endémica y la relevancia territorial de estos espacios. Se analizan las normativas nacionales y regionales, además de los lineamientos del Gobierno de Australia, vinculadas a la contaminación lumínica, protección ambiental y conservación de la biodiversidad de otros países y Latinoamérica, así como su aplicación práctica en instrumentos como el SEIA en Chile.

La falta de lineamientos técnicos claros sobre cómo medir y evaluar la contaminación lumínica en zonas de alta montaña dificulta la integración de esta variable en procesos de planificación territorial y conservación. Aunque el Decreto Supremo N° 1/2022 representa un avance, la ausencia de metodologías oficiales para el levantamiento de datos en ecosistemas altoandinos deja en manos de los proponentes de proyectos la definición de parámetros y técnicas de medición, lo que genera resultados dispares y

poco comparables. Esta situación no solo debilita la transparencia y objetividad de las evaluaciones ambientales, sino que también impide construir series de datos históricas que permitan monitorear tendencias y evaluar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas (Servicio de Evaluación Ambiental, 2024).

La metodología de la investigación se basa en un análisis documental riguroso, que incluye la revisión crítica de leyes, decretos, regulaciones, informes técnicos y bibliografía científica especializada. Complementariamente, se contempla la incorporación de estudios de caso y la evaluación comparativa con marcos normativos internacionales para enriquecer las propuestas de mejora normativa. Este enfoque permitirá generar conclusiones y recomendaciones fundamentadas, que orienten la formulación de políticas públicas y estrategias de gestión ambiental adaptadas a la realidad ecológica y socioeconómica del norte de Chile. Además, se espera contribuir al fortalecimiento de la gobernanza ambiental mediante propuestas que integren la contaminación lumínica como un factor ambiental crítico dentro de la planificación territorial y los procesos de evaluación ambiental.

Los objetivos de esta investigación están orientados a evaluar y fortalecer la gestión ambiental de la contaminación lumínica en los tipos de ecosistemas altoandinos del norte de Chile. En primer lugar, se busca analizar la efectividad del marco normativo ambiental vigente, identificando sus vacíos y potenciales áreas de mejora para una protección integral de la biodiversidad. Para ello, se plantean objetivos específicos que incluyen la caracterización de la biodiversidad local y su vulnerabilidad frente a alteraciones lumínicas, un análisis detallado del marco legal chileno en esta materia, y el diseño de lineamientos estratégicos normativos e institucionales que permitan mitigar de manera efectiva los impactos de la contaminación lumínica en estos frágiles ecosistemas. (Primer Tribunal Ambiental, 2022).

Objetivo General

Analizar la efectividad del marco normativo ambiental chileno frente a los impactos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad en los tipos de ecosistemas altoandinos del norte de Chile, identificando vacíos y oportunidades de mejora para fortalecer su gestión ambiental.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar la biodiversidad por tipo de ecosistema altoandino del norte de Chile, evaluando su grado de vulnerabilidad frente a las alteraciones de los ciclos naturales de luz y oscuridad provocadas por la contaminación lumínica.
2. Recopilar en profundidad el marco legal chileno en materia de contaminación lumínica, evaluando su eficacia y limitaciones en la protección de la biodiversidad altoandina.
3. Diseñar lineamientos estratégicos para el fortalecimiento normativo e institucional, orientados a la mitigación efectiva de los impactos de la contaminación lumínica sobre los tipos de ecosistemas altoandinos.

Vinculación de los Objetivos con los ODS

La articulación del proyecto con los ODS permite enmarcar sus resultados en un contexto global de sostenibilidad ambiental, social y económica. En este sentido, el proyecto contribuye de manera directa

e indirecta a varios ODS definidos en la Agenda 2030, con especial énfasis en aquellos vinculados a la conservación de la biodiversidad, la gestión ambiental y la planificación territorial sustentable.

La presentación de los ODS vinculados al TFG responde a la necesidad de establecer una jerarquía prioritaria para el desarrollo de las propuestas, orientando las acciones hacia metas medibles y coherentes con los desafíos ambientales del norte de Chile, particularmente en ecosistemas altoandinos afectados por la contaminación lumínica:

Contribuciones principales

- **ODS 15 - Vida de ecosistemas terrestres:** El TFG se alinea directamente con el ODS 15 al promover la conservación de la biodiversidad en ecosistemas altoandinos. Se busca identificar vacíos normativos que limitan la protección de especies y hábitats sensibles a la contaminación lumínica, así como generar lineamientos que favorezcan su preservación. Esta contribución fortalece la gestión ambiental y la toma de decisiones basadas en evidencia científica. (Organización de las Naciones Unidas, 2015a).
- **ODS 13 - Acción por el clima:** Existe una vinculación indirecta con el ODS 13, dado que la reducción de la contaminación lumínica implica mejoras en la eficiencia energética y, por ende, una disminución en las emisiones asociadas al consumo eléctrico. Asimismo, el fortalecimiento de la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático se ve reforzado al mitigar presiones adicionales sobre las especies. (Organización de las Naciones Unidas, 2015b).
- **ODS 11 - Ciudades y comunidades sostenibles:** El TFG aporta a este objetivo mediante la promoción de buenas prácticas de alumbrado público, el fomento de una planificación territorial más sostenible y la reducción de impactos ambientales en áreas periurbanas. Se plantea la incorporación de criterios de iluminación responsable en el diseño urbano y en la gestión de la infraestructura pública. (Organización de las Naciones Unidas, 2015c).
- **ODS 12 - Producción y consumo responsables:** La investigación promueve la adopción de tecnologías y prácticas de iluminación más sostenibles, reduciendo el uso innecesario de energía y minimizando los efectos negativos sobre la biodiversidad. Este enfoque contribuye al fomento de un consumo energético responsable, basado en la eficiencia y la educación ambiental. (Organización de las Naciones Unidas, 2015d).
- **ODS 17 – Alianzas para lograr los objetivos:** El desarrollo del TFG se sustenta en la colaboración entre diversos actores, instituciones gubernamentales, observatorios astronómicos, universidades, comunidades locales y organizaciones ambientales. Estas alianzas fortalecen la gobernanza ambiental y la implementación de políticas integradas de monitoreo y conservación. (Organización de las Naciones Unidas, 2015e).

En la siguiente Imagen 1, se presentan los ODS que aplican al Trabajo final de Grado, que consisten en una iniciativa global promovida por las Naciones Unidas para erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar el bienestar de todas las personas para el año 2030:



Imagen N° 1. Objetivos y metas de desarrollo sostenible.

Fuente: Organización de las Naciones Unidas (2025).

Siguiendo en el mismo contexto se ha realizado un cuadro de síntesis, con la finalidad de resumir y facilitar la comprensión de la vinculación directa del TFG con los ODS descritos en la siguiente Tabla 1:

Tabla N° 1. Vinculación del TFG con los ODS.

ODS	Aportes del Proyecto	Productos Esperados
ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres	Identificación de vacíos normativos y elaboración de propuestas para la protección de flora y fauna altoandina afectada por la contaminación lumínica.	Informe técnico con lineamientos normativos y recomendaciones para conservación de biodiversidad.
ODS 13: Acción por el clima	Integración de prácticas de eficiencia energética en la iluminación pública y privada, reduciendo emisiones indirectas.	Guía de buenas prácticas de iluminación sustentable y su relación con mitigación climática.
ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles	Fomento de la planificación territorial que considere la iluminación responsable en zonas urbanas y periurbanas.	Propuesta de criterios ambientales para políticas municipales de alumbrado.
ODS 12: Producción y consumo responsables	Sensibilización y capacitación sobre el uso racional de la energía lumínica en comunidades y organismos públicos.	Material educativo y talleres de formación en eficiencia lumínica.
ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos	Fortalecimiento de redes colaborativas entre instituciones científicas, municipios y comunidades.	Convenios de cooperación y plataforma de monitoreo participativo.

Fuente: Elaboración propia (2025).

ANTECEDENTES

Caracterización del Área Geográfica en Estudio

El área geográfica en estudio corresponde a los tipos de ecosistemas altoandinos del norte de Chile, específicamente en sectores ubicados a 3.000msnm en la Región de Atacama. Estas zonas se caracterizan por condiciones climáticas extremas, como alta radiación solar, oscilaciones térmicas marcadas y baja humedad, que han dado lugar a una biodiversidad endémica y altamente especializada. En la siguiente Imagen 2, se observa mapa sectorial de la región en estudio:

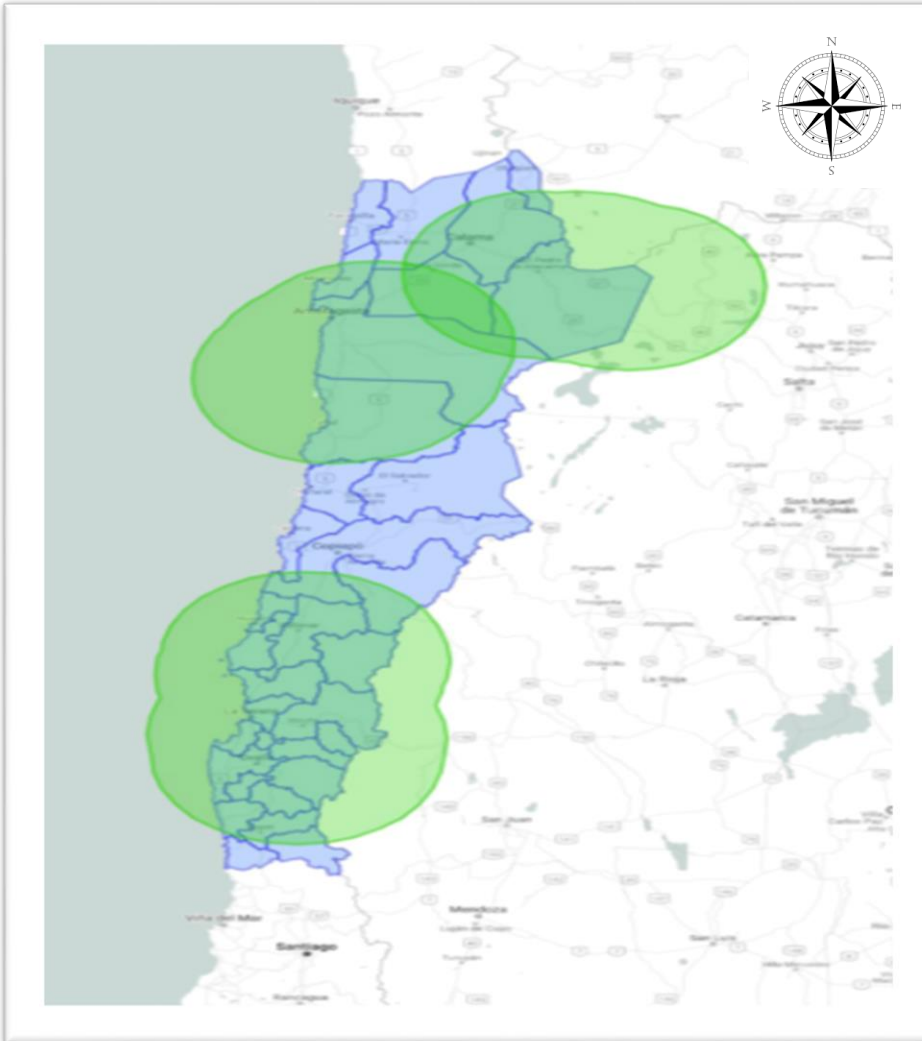


Imagen N° 2. Mapa región de Atacama.

Fuente: Ministerio de educación (2025).

En estos territorios se encuentran especies de flora y fauna que dependen de la estabilidad de los ciclos naturales de luz y oscuridad. La luz artificial nocturna afecta de forma directa y/o indirecta a múltiples taxones, algunos ejemplos son:

- Insectos nocturnos (polinizadores, mariposas, escarabajos, entre otros.) (Haase, 2024).
- Aves migratorias (señales estelares para orientarse) (Carlsen, 2025).
- Aves de humedales altoandinos (flamenco andino, pato juarjual, garzas, chorlo de la puna, entre otros.) (Medrano, Barros, Norambuena, Matus, & Schmitt, 2018).
- Murciélagos (quirópteros insectívoros) (Department of Climate Change, 2024).
- Reptiles (lagartijas) y anfibios (sapos, ranas) con actividad crepuscular nocturna (cuyo ciclo reproductivo o comportamiento nocturno son alterados) (Downie, 2019).
- Mamíferos como guanacos, zorros, vizcachas, etc. (desorientación, dificultad en la búsqueda de alimentos, aumento en su vulnerabilidad frente a depredadores, además de interferir en sus ciclos reproductivos) (DarkSky International, 2025b).
- Especies vegetales (plantas dependientes de polinización nocturna, flora endémica, como cactáceas, estepas de iros, coirones, además de arbustos bajos y hierbas especializadas, sufren principalmente efectos indirectos vía pérdida o alteración de polinizadores nocturnos y cambios en los eventos fenológicos (momentos clave en el ciclo de vida) (CILUZ, 2023) (Morales, 2011).

A continuación, en Imagen 3, se puede observar flora y fauna de la región en estudio, ilustrando la interacción ecológica de los ecosistemas altoandinos del norte de Chile, localizados en la Región de Atacama, donde la gestión ambiental adquiere relevancia estratégica para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Estos sistemas frágiles requieren medidas de monitoreo ambiental, control de contaminación lumínica y aplicación de planes de manejo adaptativo que integren criterios de sustentabilidad. La identificación de impactos sobre la fauna, la vegetación y los ciclos naturales de luz y oscuridad resulta esencial para establecer lineamientos de mitigación y protección ambiental en áreas de alto valor ecológico (Morales, Jerez, 2021):



Imagen N° 3. Fauna y flora nativa del norte de Chile.

Fuente: Elaboración propia (2025).

La evidencia científica demuestra que la fauna nocturna es altamente sensible a la alteración lumínica, incluso en niveles considerados bajos por la normativa vigente. En el caso de las luciérnagas, estudios recientes muestran que un destello breve de faros vehiculares puede interrumpir sus patrones de señalización, modificar sus destellos de apareamiento o incluso inhibir por completo sus emisiones bioluminiscentes en ambientes donde existe iluminación artificial directa o filtrada desde el interior de las viviendas (Sachs, 2025; International Dark Sky, 2025). Estos efectos permiten comprender con mayor claridad la relevancia ecológica del skyglow (resplandor del cielo), entendido como el incremento difuso y generalizado del brillo del cielo nocturno generado por la dispersión atmosférica de la luz artificial. A diferencia de fuentes puntuales visibles en el terreno (farolas, letreros), el skyglow es un fenómeno de carácter agregado y espacialmente difuso que puede propagarse decenas o cientos de kilómetros desde la fuente emisora, afectando la oscuridad natural incluso en áreas remotas. En la práctica, el skyglow se cuantifica a través de medidas de radiancia/luminancia del cielo y mediante índices satelitales de brillo nocturno, su intensidad depende no solo del flujo luminoso emitido, sino también de la composición espectral (especialmente la fracción azul), condiciones atmosféricas (aerosoles, humedad) y topografía.

Las áreas altoandinas presentan características que hacen al skyglow especialmente pernicioso, baja contaminación atmosférica (lo que facilita la propagación y percepción del resplandor), topografía que puede canalizar y concentrar irradiancia, y alta endemia biológica adaptada a ciclos diurnos-nocturnos muy estables. Además, muchos territorios altoandinos albergan observatorios astronómicos y ecosistemas frágiles cuyas funciones ecológicas (forrajeo nocturno, orientación de migraciones, sincronía reproductiva, entre otros) dependen de la integridad de la oscuridad. Por tanto, el skyglow no es un problema meramente estético o de pérdida de calidad para la astronomía, constituye una amenaza directa a procesos ecológicos y a la conservación de especies endémicas (SkyGlow Project, 2025). En Tabla 2 se presentan los principales aportes del skyglow para el ecosistema:

Tabla N° 2. Resumen de los principales aportes del skyglow para el ecosistema.

EJE TEMÁTICO	SKYGLOW PROJECT	SÍNTESIS DEL APORTE
Definición y naturaleza del skyglow	Skyglow, brillo del cielo nocturno producido por la dispersión atmosférica de luz artificial agregada, no solo por fuentes puntuales.	Permite usar una definición oficial, diferenciando luz directa vs. resplandor difuso, clave para análisis territorial y ecológico.
Problema ambiental global	Skyglow es una amenaza seria para ecosistemas, fauna nocturna y energía. No es solo un problema astronómico.	Refuerza que en Chile debe abordarse desde gestión ambiental, conservación y políticas públicas, no solo desde astronomía.
Tendencia al alza del skyglow (2011–2022)	Incremento estimado 9,6% anual según estudios basados en datos satelitales y ciencia ciudadana.	Justifica urgencia de monitoreo, actualización normativa y medidas preventivas en zonas sensibles (altoandinas).

Metodologías para medir skyglow	Uso de fotografía nocturna, timelapses, sensores de brillo, cámaras all-sky y datos satelitales.	Necesidad de métodos objetivos: instrumentación, SIG, teledetección, eleva la rigurosidad del capítulo metodológico.
Impactos ecológicos amplios	Afecta ritmos circadianos, fauna nocturna, interacciones ecológicas y funcionalidad natural.	Justifica la relevancia en ecosistemas altoandinos frágiles, aporta al diagnóstico ambiental y análisis crítico.
Buenas prácticas de iluminación Dark-Sky Friendly	Luminarias direccionadas, blindadas (shielded), espectros cálidos, control temporal.	Permite comparar normativa chilena (D.S. N°1/2022) con estándares internacionales IDA/SKYGLOW, base para la matriz normativa.
Dimensión educativa y cultural	Destaca la desconexión humana con la noche natural; urge educar y sensibilizar.	Puedes proponer un componente educativo/comunicacional, demostrando viabilidad social del proyecto o tesis.

Fuente: Elaboración propia (2025).

El cuadro sintetiza los principales aportes del SKYGLOW Project, destacando su naturaleza como resplandor atmosférico difuso producido por la luz artificial agregada, su carácter de problema ambiental global y su incremento sostenido a nivel mundial. Asimismo, releva la necesidad de metodologías objetivas de medición, como sensores de brillo, cámaras all-sky y datos satelitales, y evidencia los impactos ecológicos que el skyglow genera sobre fauna nocturna, ritmos biológicos y ecosistemas sensibles, especialmente en territorios altoandinos. Finalmente, incorpora criterios de buenas prácticas de iluminación y la dimensión educativa y cultural asociada a la pérdida de la noche natural, elementos que fortalecen el análisis metodológico, normativo y ambiental (SkyGlow Project, 2025).

En el ámbito sociodemográfico, habitan comunidades locales mayoritariamente indígenas (Aimara y Atacameña), cuya economía combina ganadería de camélidos donde se crían llamas, alpacas, a veces vicuñas y guanacos de manera extensiva, agricultura de altura, también conocida como agricultura vertical, es una técnica de cultivo que se realiza en capas superpuestas, aprovechando el espacio verticalmente en lugar de la forma tradicional horizontal. La cercanía a centros urbanos como Putre, San Pedro de Atacama o Calama influye en la movilidad de personas. Además, estos sectores presentan un creciente desarrollo de actividades antropogénicas como minería, urbanización, turismo e infraestructura vial, las cuales han intensificado la emisión de luz artificial nocturna, incrementando la presión sobre ecosistemas frágiles. A su vez, el norte de Chile es reconocido por albergar los cielos más limpios del mundo, siendo sede de observatorios astronómicos de clase mundial, lo que ha impulsado ciertas medidas normativas orientadas a la protección del cielo oscuro, aunque sin considerar suficientemente el componente ecológico. Esta combinación de factores hace del altiplano del norte de Chile un territorio prioritario para estudiar la interacción entre contaminación lumínica, biodiversidad y regulación ambiental. (Ministerio del Medio Ambiente, 2022) (Municipalidad de San Pedro de Atacama, 2024), como se observa en Imagen 4:

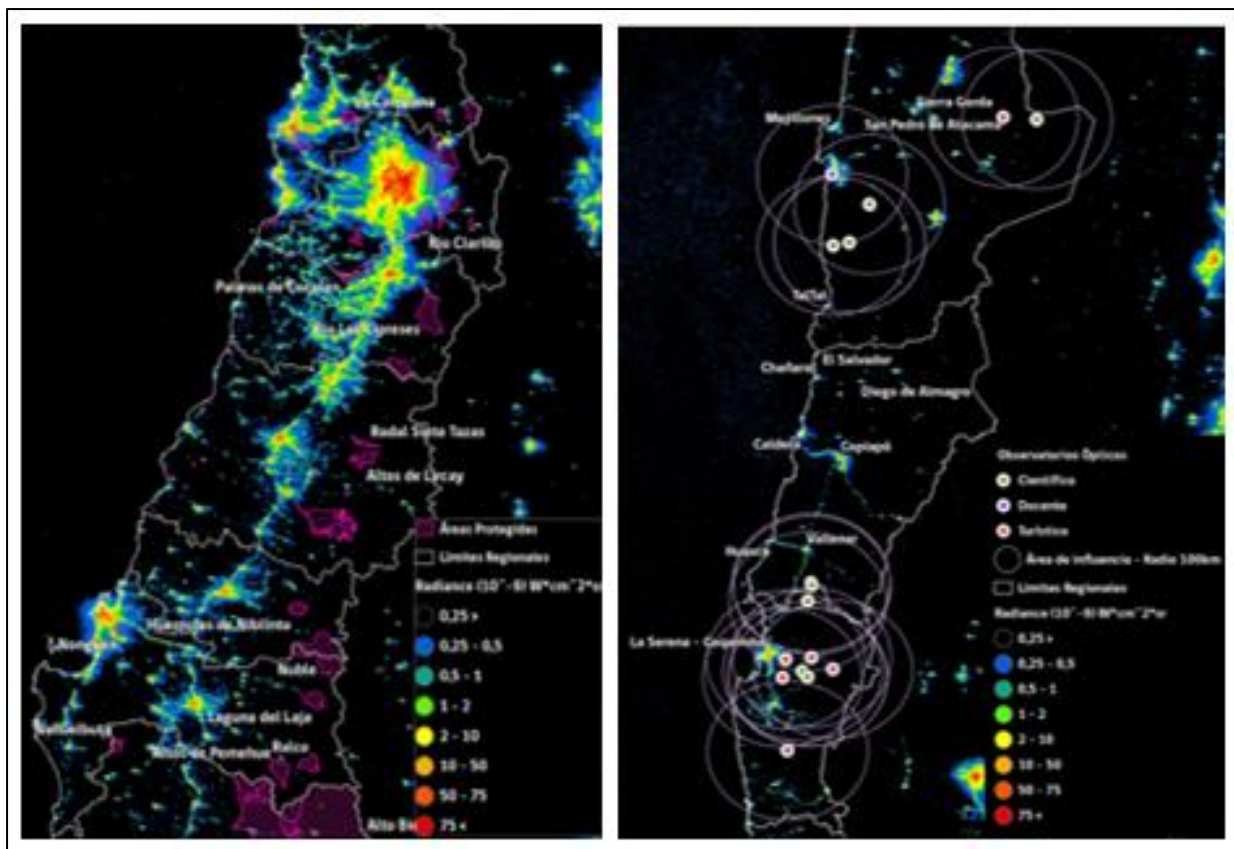


Imagen N° 4. Mapa de contaminación lumínica en áreas protegidas y presencia de observatorios ópticos, 2019.

Fuente: Informe del estado del medio ambiente / Capítulo 11: Contaminación lumínica, pp.18-19 (2021).

En el ámbito institucional, la gobernanza del territorio involucra a múltiples actores con responsabilidades complementarias, el MMA, encargado de la política ambiental y la fiscalización, el SEA, a través de sus instrumentos (EIA y RCA), la CONAF, con la gestión de áreas protegidas, así como los gobiernos regionales y municipales, responsables del ordenamiento territorial y de los permisos locales. También participan actores privados e internacionales, como los observatorios astronómicos, y el sector productivo, representado por las empresas mineras. Sin embargo, pese a la existencia de estos instrumentos y actores clave, la coordinación interinstitucional orientada específicamente al control de la contaminación lumínica desde una perspectiva ecológica sigue siendo insuficiente, lo que limita la implementación de intervenciones integradas y adaptadas a las particularidades del territorio (Ministerio del Medio Ambiente, 2021).

El área de estudio corresponde a la puna altoandina del norte de Chile, un ecosistema de gran altitud con condiciones climáticas extremas, caracterizado por su aridez, alta radiación solar, bruscas oscilaciones térmicas y escasa cobertura vegetal. Según el estudio realizado en el Parque Nacional Lauca (a más de 4300 msnm), estos ambientes soportan una diversidad limitada de especies, sin embargo, presentan una variedad significativa de formas de vida adaptadas que se distribuyen siguiendo gradientes ambientales como la humedad, la exposición y el tipo de sustrato. Las plantas cojín son más abundantes

en terrenos rocosos y xerófilos, mientras que en suelos más desarrollados proliferan pastos en mechones (tussock grasses) y arbustos pequeños (Squeo, Warner, Aravena & Espinoza, 2006). En Imagen 5, se observa su ubicación y su flora endémica:

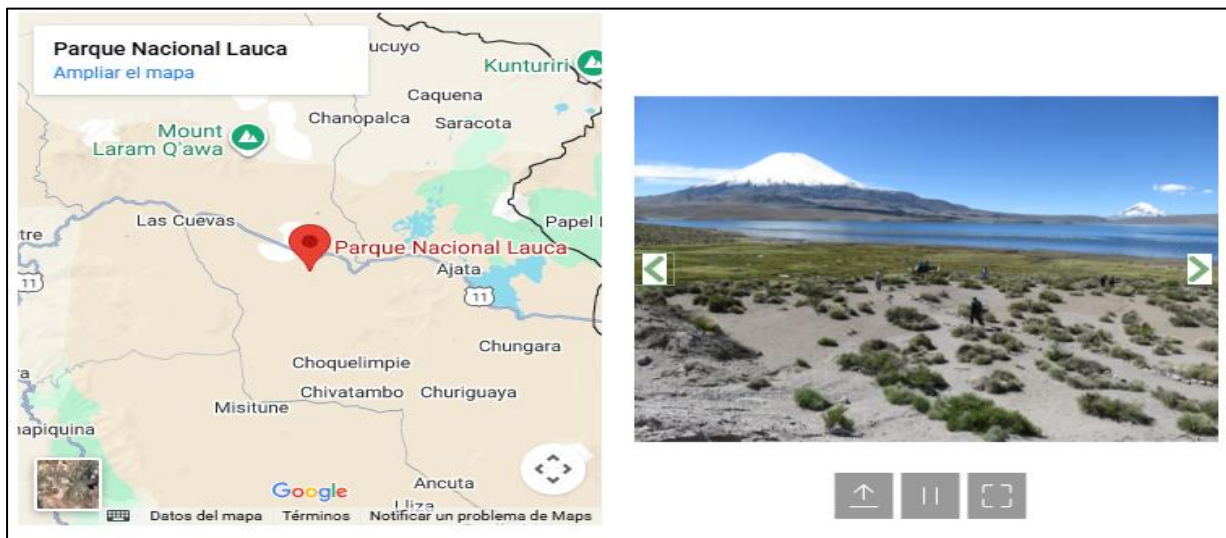


Imagen N° 5. Parque Nacional Lauca

Fuente: Conaf (2025).

Por otra parte, los bofedales como se muestran en Imagen 6, importantes humedales altoandinos ubicados entre los 3200 y más de 5000 msnm, constituyen ecosistemas húmedos insustituibles en medio de una matriz seca. Estos ecosistemas están dominados por plantas de la familia Juncaceae, como *Distichia muscoides* y *Patosia clandestina*, que forman estructuras en cojín y desempeñan un rol fundamental en la formación de turba, regulación del agua, y provisión de refugio para fauna endémica y especies asociadas (Lambrinos, Kleier & Rundel, 2006).



Imagen N° 6. Los bofedales: Oasis de vida en el altiplano andino.

Fuente: Altiplano Travel (2025).

En conjunto, el clima adverso y vegetación altamente especializada convierte a la puna altoandina en un sistema ecológico sumamente sensible a perturbaciones externas, donde alteraciones como la contaminación lumínica pueden alterar profundamente los procesos ecológicos clave.

Marco de Referencia Teórico

La presente investigación se apoya en el enfoque de la ecología del paisaje nocturno, el cual considera a la luz artificial nocturna como un componente ambiental disruptivo con efectos significativos sobre la biodiversidad. Diversos estudios han demostrado que la luz artificial altera los ritmos circadianos, la migración, el comportamiento reproductivo y la comunicación visual de múltiples especies (Gaston, Visser & Hölker, 2015). Estas alteraciones se agravan en ecosistemas frágiles como los altoandinos, donde muchas especies están adaptadas a condiciones de oscuridad natural.

La ecología del paisaje nocturno entiende la oscuridad como un recurso ecológico fundamental, al igual que el agua y sus nutrientes. Su alteración puede generar desequilibrios en redes tróficas y relaciones mutualistas (Gaston, Visser & Hölker, 2015). La gestión ambiental involucra la necesidad de incorporar la contaminación lumínica como un factor de influencia en los instrumentos de planificación territorial, evaluación ambiental y conservación. Con relación a lo anterior, en Imagen 7, se puede percibir la contaminación lumínica en su plenitud en una ciudad con luminarias deficientes debido al ángulo de enfoque:



Imagen N° 7. Cómo la contaminación lumínica altera los sentidos de las plantas.

Fuente: CILUZ (2023).

La floración o brotación suele producirse en primavera, con la llegada de temperaturas más cálidas que coinciden con días más largos y más rayos ultravioletas. Sin embargo, la contaminación lumínica está alterando esas señales para las plantas. Los cambios estacionales de las plantas se han visto afectados por la luz artificial nocturna. Brotan antes o conservan sus hojas por más tiempo, y eso se debe a que el

fotoperíodo, que es la proporción entre el día y la noche, queda enmascarado por la luz artificial durante la noche. Incluso la luz ambiental que irradia kilómetros de distancia de una ciudad puede alterar los ritmos circadianos de plantas y animales.

Brechas de conocimiento y posicionamiento del proyecto

A pesar de los avances normativos en Chile, persisten brechas críticas de conocimiento que dificultan una gestión integral de la contaminación lumínica en el contexto altoandino como, por ejemplo:

- **Escasez de mediciones locales y sistemáticas:** faltan registros continuos y espacialmente representativos de luminancia, espectro lumínico y distribución de fuentes artificiales en áreas de altura, lo que impide cuantificar la exposición de especies sensibles (Falchi, 2016) (Kyba, 2017).
- **Falta de evidencia sobre impactos en especies altoandinas:** existe literatura internacional sobre efectos de Artificial Light At Night (ALAN) en fauna y procesos ecológicos, pero hay poca evidencia empírica local que documente respuestas específicas de especies endémicas altoandinas (Gaston, Visser, & Hölker, 2015).
- **Desconexión normativa ecológica:** las normas emergentes en Chile tienden a enfocarse en la protección del cielo para fines astronómicos (Ley N° 21.162; DS N° 1/2022) pero integran de forma limitada criterios ecológicos explícitos que consideren espectro, temporalidad y efectos sobre la biota nocturna (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2019) (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).
- **Débil articulación institucional:** ausencia de protocolos y mecanismos permanentes de coordinación entre observatorios, municipios, servicios ambientales y comunidades para monitoreo y respuesta operacional frente a impactos lumínicos.

El TFG se posiciona para aportar evidencia técnica, inventarios por ecosistema tipo, mapas de sensibilidad, diagnóstico espacial de fuentes luminosas (Anexo 1) y jurídica por matriz de cobertura normativa, análisis de aplicabilidad y lineamientos de mejora, para cerrar las brechas anteriores y ofrecer posibles recomendaciones (SEREMI del Medio Ambiente, Región de Atacama, 2024).

Marco de Referencia Legal Chileno

A nivel normativo, Chile cuenta con leyes y decretos que han comenzado a regular la contaminación lumínica, aunque con limitaciones importantes desde una perspectiva ecológica:

- Ley N° 19.300/1994 “Aprueba Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia”, establece el marco general para la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la gestión sustentable de los recursos naturales. Si bien no menciona directamente la contaminación lumínica, sienta las bases para evaluar

impactos ambientales indirectos que afecten la biodiversidad por luminosidad artificial, artículo 2, letra d) (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1994).

- Ley N° 20.417/2010 “Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia”, fortalece la gestión ambiental al incorporar la evaluación ambiental estratégica para políticas y planes normativos a gran escala, contribuyendo así a una planificación territorial más sostenible. Su importancia respecto a la contaminación lumínica radica en que la Superintendencia ahora tiene facultades técnicas y sancionadoras para fiscalizar y certificar el cumplimiento de normas de emisión lumínica, como los límites establecidos para proteger zonas astronómicas, la biodiversidad y la salud humana. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2010).
- Ley N° 21.162/2019 “Modifica la Ley N° 19.300, que Aprueba Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, para exigir la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental en los Proyectos que puedan generar Contaminación Lumínica en las zonas que indica, del Ministerio del Medio Ambiente”, incorporando la protección del cielo nocturno como un elemento ambiental relevante, reconociendo su valor científico, cultural y natural. Esta Ley abre la posibilidad de considerar efectos de la luz artificial como un componente evaluable en procesos de impacto ambiental. Su enfoque es esencialmente astronómico y no aborda los efectos sobre la fauna y flora. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2019).
- Decreto Supremo N° 1/2022 “Establece Norma de Emisión de Luminosidad Artificial generada por Alumbrados de Exteriores, elaborada a partir de la revisión del Decreto Supremo N° 43, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente”, para la regulación de emisiones de luz artificial en regiones del norte del país. Establece límites máximos de luminancia, requisitos técnicos de diseño lumínico y zonas de protección especiales, aunque su aplicación sigue siendo focalizada en la preservación de cielos para la astronomía, sin abordar en profundidad la dimensión ecológica y su impacto significativo. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022a).

Si bien no todas las normas ambientales vigentes en Chile se refieren de manera explícita a la contaminación lumínica, existen marcos legales que, de forma indirecta, resultan pertinentes abordar sus impactos sobre la biodiversidad. Entre ellas se encuentran:

- Decreto Supremo N° 1.963/1995 “Promulga el Convenio sobre la Diversidad Biológica, del Ministerio de relaciones Exteriores”, si bien no menciona explícitamente la luz artificial, compromete al Estado a evitar impactos antropogénicos sobre la biodiversidad. El instrumento puede servir de base para justificar la incorporación de la contaminación lumínica como amenaza ambiental. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1995).
- Ley N° 21.600/2023 “Crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, del Ministerio del Medio Ambiente”, la Ley no menciona directamente la luz artificial, su importancia radica en establecer, promover, fiscalizar y gestionar la conservación

en áreas protegidas. Esto permitiría integrar regulaciones, como luminarias adecuadas, horarios de iluminación y reducciones de flujo lumínico, dentro de los instrumentos de manejo para proteger la biodiversidad nocturna. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023a).

- Decreto Supremo N° 12/2023 “Crea el Parque Nacional Desierto Florido, en la Comuna y Provincia de Copiapó, Región de Atacama, del Ministerio de Bienes Nacionales”, aunque el Decreto no menciona explícitamente la contaminación lumínica, al consolidar esos compromisos internacionales, refuerza el marco de protección de la biodiversidad en Chile. Esto permite que, en un contexto regulatorio más amplio, se reconozca que la contaminación lumínica puede afectar a especies migratorias y ecosistemas sensibles. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023b).
- Decreto Supremo N° 2/2023 “Declara Áreas con Valor Científico y de Investigación para la Observación Astronómica, del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación”, no menciona explícitamente la protección de la biodiversidad, ya que su objetivo central es la protección de áreas astronómicas frente a la contaminación lumínica. Sin embargo, sí se puede vincular indirectamente con el cuidado de la biodiversidad, porque al establecer restricciones y regulaciones sobre la iluminación en zonas específicas, se genera un efecto colateral positivo sobre los ecosistemas. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023c).

El marco legal evidencia que, si bien se han registrado avances normativos, persiste un vacío en cuanto a la protección efectiva de los ecosistemas frente a la contaminación lumínica, particularmente en territorios de alta sensibilidad como los espacios altoandinos. Aunque la biodiversidad no constituye un fundamento jurídico explícito en estas regulaciones, su implementación puede interpretarse como un aporte complementario a la conservación de los ecosistemas, en coherencia con los compromisos ambientales asumidos por Chile.

A continuación, en Tabla 3 se presenta matriz normativa sintética para la gestión de contaminación lumínica con énfasis en biodiversidad altoandina, como una oportunidad estratégica para integrar la oscuridad Natural como atributo de gestión, ecológico, territorial y de conservación. Esto permitiría:

- Identificar zonas de alta sensibilidad nocturna.
- Incorporar estándares ecológicos en procesos del SEIA.
- Fortalecer la gobernanza interinstitucional (MMA, SMA, MOP, MINERÍA, municipios).
- Actualizar normativas sectoriales que hoy generan efectos de iluminación excesiva.

Tabla N° 3. Matriz normativa sintética para la gestión de contaminación lumínica con énfasis en biodiversidad altoandina.

Instrumento Jurídico	Aplicabilidad	Alcance	Vacíos o Limitaciones	Oportunidades de Mejora
D.S. N° 1/2022 del Ministerio	Obligatoriedad en zonas de	Regula niveles máximos de	No incorpora indicadores ecológicos;	Integrar la oscuridad natural como

del Medio Ambiente (Norma lumínica)	protección astronómica y territorios definidos por la norma. Aplica a nuevas instalaciones y modificaciones relevantes.	emisión hacia el hemisferio superior, certificación lumínica y protocolos de medición.	no considera respuesta biológica nocturna; no delimita zonas de alta sensibilidad ecológica, fiscalización limitada.	atributo ambiental, crear categorías de sensibilidad ecosistémica, vincular la norma con monitoreo biológico, fortalecer protocolos para fauna altoandina.
EIA/SEIA – Ley 19.300	Aplica a proyectos con impacto ambiental relevante, evalúa efectos sobre flora, fauna y hábitat.	Permite condicionar instalaciones lumínicas mediante medidas de mitigación, reparación y compensación.	Contaminación lumínica no siempre reconocida como impacto significativo, ausencia de líneas base nocturnas y falta de metodologías.	Incorporar guías técnicas específicas para luz artificial, exigir mediciones de brillo del cielo y comportamiento nocturno de fauna, estandarizar líneas base.
Estrategia Nacional de Biodiversidad 2023–2030	Marco orientador para conservación y restauración.	Reconoce amenazas emergentes sobre biodiversidad.	No menciona explícitamente la contaminación lumínica; carece de herramientas de implementación vinculantes.	Incluir la luz artificial como presión antrópica prioritaria, articular programas de monitoreo nocturno y zonas de oscuridad protegida.
Ley Marco de Cambio Climático (2022)	Marco de acción climática nacional, con enfoque de adaptación y resiliencia.	Promueve gestión territorial integrada y protección de ecosistemas sensibles.	La contaminación lumínica no se integra como variable climática o de resiliencia ecosistémica; no aterriza medidas para zonas altoandinas.	Incorporar la luz artificial como factor que exacerba vulnerabilidad de fauna nocturna, incluir criterios de iluminación sostenible en planes regionales de acción climática.
Ordenanzas municipales de alumbrado público	Aplicación local. Varía según comuna.	Regulan características de luminarias, horarios y eficiencia.	No incluyen criterios ecológicos; visionado urbano sobre visión ecosistémica; variabilidad municipal sin estándares	Establecer ordenanzas modelo, incorporar restricciones horarias, espectrales y de intensidad,

			comunes.	coordinar con norma nacional.
Reglamentos sectoriales mineros, energéticos y viales	Aplicación a proyectos de infraestructura y operación continua.	Exigen iluminación por seguridad y operación.	No contemplan impactos lumínicos sobre fauna, exceso de iluminancia por criterios de seguridad sobredimensionados.	Actualizar bases técnicas sectoriales, promover una iluminación adaptativa, según riesgo real, incorporar espectros cálidos y dirección controlada.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Este cambio conceptual habilita una transición hacia modelos de iluminación sostenible que protejan tanto la funcionalidad ecosistémica como el desarrollo territorial.

Ahora bien, a nivel internacional, la Guía Nacional sobre Contaminación Lumínica para la Vida Silvestre elaborada por el Gobierno de Australia (Departamento de Cambio Climático, Energía, Medio Ambiente y Agua. Australia, 2023) constituye un referente clave para la gestión de los impactos de la luz artificial nocturna sobre la biodiversidad. Este documento establece directrices técnicas para la planificación, diseño y evaluación de proyectos de iluminación, con el fin de minimizar efectos adversos sobre especies sensibles. La guía enfatiza la importancia de estrategias adaptativas basadas en evidencia científica, promoviendo la compatibilidad entre el uso de la iluminación artificial y la conservación de procesos ecológicos esenciales, lo que la convierte en un modelo de buenas prácticas para otros países que buscan proteger sus ecosistemas frente a la contaminación lumínica.

En consecuencia, se presenta Tabla 4 matriz que sintetiza la aplicabilidad, alcance y limitaciones de los principales instrumentos legales y técnicos que regulan la iluminación artificial en Chile y en experiencias seleccionadas internacionalmente y en Latinoamérica. Se aprecia un avance técnico y normativo importante en Chile (D.S. N.º 1/2022 y PCL), que provee herramientas para el control de la emisión y la certificación de equipos. Sin embargo, la protección efectiva de la biodiversidad requiere complementos operativos que actualmente ponen en práctica otras experiencias (p. ej. NOM-162 en México, guía australiana por taxón). Los vacíos más relevantes son de carácter ecológico, la ausencia de indicadores biológicos, territorial y su falta de zonificación operacional e institucional, sin su capacidad de fiscalización municipal y sectorial. Se orienta una estrategia de reforma normativa y de gestión, como incorporar indicadores de respuesta biológica en EIA y condiciones de RCA, también promover ordenanzas municipales que adopten la zonificación luminosa y por último establecer programas de monitoreo y verificación científica que permitan cerrar la brecha entre cumplimiento técnico y conservación real.

Tabla N° 4. Matriz normativa sintética de Contaminación lumínica y protección de biodiversidad.

Instrumento	Jurisdicción / Nivel	Aplicabilidad	Alcance / Disposiciones Clave	Vacíos Principales	Oportunidades de Mejora
D.S. N.º 1/2022 Norma de Emisión de Luminosidad Artificial	Nacional — Chile	Obligatorio para nuevas instalaciones y proyectos sujetos a regulación; referencia técnica para autoridades	Establece límites espectrales (CCT, % luz azul), requerimientos de luminarias (full-cutoff), posibilidad de Áreas de Protección para Biodiversidad y vinculación con planes RECOGE.	No incorpora indicadores ecológicos ni métricas de respuesta biológica, implementación desigual a nivel local, plazos transicionales en algunas disposiciones.	Incorporar anexos técnicos con métricas biológicas mínimas, exigir modelación de impacto biológico en EIA, protocolos de monitoreo post-implementación.
PCL N.º 1 / Protocolos de Análisis y Ensayos (Resoluciones Exentas)	Nacional — Chile (técnico)	Certificación y verificación de luminarias, aplicable a importación/instalación	Protocolos de ensayo para certificación de luminarias y proyectores; criterios de laboratorio para comprobar cumplimiento.	Técnica, pero sin vínculo operacional con medidas de conservación (p. ej. no determina dónde aplicar tipos de luminarias según hábitats).	Incorporar clasificaciones por zona ecológica en anexos (APN vs Zonas urbanas) y requerir certificación para proyectos en APN con criterios más estrictos.
SEIA / RCA (Resoluciones de Calificación Ambiental)	Nacional — Chile (procedimiento)	Instrumento de evaluación ambiental de proyectos, puede fijar condiciones específicas	Obliga modelación radiativa en proyectos que afecten áreas sensibles, permite fijar condiciones y medidas de mitigación/monitoreo en la	Aplicación heterogénea, algunas RCAs omiten o no cuantifican impactos lumínicos, falta estandarización de condicionantes.	Estandarizar requisitos mínimos para modelación y condicionantes lumínicos, incluir cláusulas de seguimiento biológico obligatorio (triggers y

			RCA.		remediación).
Ordenanzas municipales (ej.: Caldera, Huasco, Vallenar, Freirina, Copiapó)	Municipal	Regulan alumbrado público, pantallas y cumplimiento local del D.S.	Remisión a D.S. N.º1/2022, algunas exigen luminarias certificadas, educación ambiental, limitación de pantallas.	En general, enfoque en eficiencia/infraestructura; escasa mención explícita a especies endémicas o indicadores biológicos; capacidad técnica limitada.	Adoptar ordenanza-modelo (zonificación luminosa, APN locales, cronogramas de recambio con prioridad ecológica), capacitar municipalidades, habilitar fondos locales para recambio.
NOM-162 / NOM-059 (México)	Nacional — México	Obligaciones sectoriales (playas de anidación, listados de especies en riesgo)	NOM-162 regula manejo de playas de anidación (medidas operativas contra perturbación lumínica), NOM-059 lista especies protegidas.	Alcance sectorial (tortugas) pero limitado para otros taxones, falta criterios espectrales uniformes.	Extender enfoque operativo a aves y mamíferos, definir valores espectrales y cronogramas por taxón, replicar enfoque operativo en Atacama.
ABNT NBR 5101:2024 (Brasil)	Nacional — Brasil (técnico)	Norma técnica de iluminación pública	Regula diseño de luminarias, control de emisión por encima del horizonte, criterios de distribución.	Buena cobertura técnica pero limitada integración con conservación de especies endémicas y planes de recuperación.	Complementar norma técnica con anexos de conservación, mapas oficiales de zonas sensibles, coordinación entre estados/municipios.

Leyes provinciales / ordenanzas (Argentina — San Juan, Misiones)	Provincial / municipal — Argentina	Protegen cielos oscuros y fomentan astroturismo, algunas reconocen impacto ambiental	Leyes locales declaran protección del cielo y habilitan restricciones lumínicas territoriales.	Heterogeneidad entre provincias, alcance variable para fauna; falta de criterios técnicos estandarizados.	Crear guía técnica nacional que armonice criterios provinciales, incorporar medidas por taxón y monitoreo.
Guía Australiana para fauna (National Light Pollution Guidelines for Wildlife)	Guía técnica — Australia	Recomendaciones operativas por taxón (tortugas, aves, murciélagos, insectos), curfews, espectro, dimming	Alto nivel de detalle por especie/taxón, propuestas de monitoreo y evaluación.	No es obligatoria, su eficacia depende de adopción por agencias/proyectos.	Adoptar como referencia técnica para anexos nacionales/municipales, traducir medidas por taxón adaptadas a contexto andino.
Instrumentos de conservación (Planes RECOGE, áreas protegidas)	Nacional / regional — Chile	Identifican especies amenazadas y áreas críticas; pueden condicionar medidas específicas	Pueden definir áreas de reproducción y medidas de protección (teóricamente vinculables a medidas lumínicas).	Poca integración sistemática con normativa lumínica, algunos planes no incluyen medidas lumínicas explícitas.	Vincular formalmente planes RECOGE con condicionantes lumínicas en EIA/RCA y ordenanzas locales.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis de aplicabilidad

El corpus normativo chileno dispone de instrumentos como el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) y las normas de emisión que, en teoría, podrían contribuir a la protección de la biodiversidad nocturna si se aplican bajo los principios preventivo y precautorio e integran criterios ecológicos explícitos.

La aplicabilidad práctica de la normativa chilena, enfrenta desafíos significativos, particularmente el D.S. N° 1/2022 y los Protocolos de Ensayo PCL N° 1 y N° 2, estableciendo criterios claros para la gestión de la contaminación lumínica y la protección de la biodiversidad. En la Región de Atacama, la presencia de ecosistemas sensibles (desiertos altoandinos, humedales, playas de anidación) y la coexistencia con

actividades mineras, urbanas y turísticas generan una presión real sobre la fauna y los hábitats, que no siempre puede mitigarse únicamente mediante la regulación técnica, además se encuentra condicionada por factores socioeconómicos. (Ministerio del Medio Ambiente, 2024c).

Esto evidencia que la gestión de la contaminación lumínica no puede ser exclusivamente normativa, sino que debe combinar instrumentos legales, incentivos económicos, educación ciudadana y monitoreo científico para garantizar una protección efectiva de la biodiversidad endémica y los ecosistemas nocturnos. Lo anterior, refleja la gran brecha que existe entre norma nacional y acción territorial, un problema recurrente en la gestión ambiental. (Núñez, 2025).

Ahora bien, al comparar las normativas de los países como Australia, México y Brasil, se evidencia que la existencia de normas claras no garantiza protección efectiva si no se acompaña de programas de monitoreo, fiscalización y educación ambiental. Por ejemplo, la guía australiana destaca la necesidad de medidas específicas por especie y de un seguimiento continuo, mientras que en México la NOM-162 muestra que la regulación operativa (apagado temporal de luces en playas de anidación) produce resultados concretos. En cambio, en la mayoría de los instrumentos técnicos brasileños y argentinos, la protección de biodiversidad es más indirecta, centrada en criterios de diseño de luminarias, y requiere de mecanismos de implementación adicionales para ser efectiva.

Integración de jurisprudencia y decisiones administrativas

Aunque en Chile no se registran aún sentencias judiciales de alto perfil que aborden la contaminación lumínica desde la perspectiva de la biodiversidad, sí existen Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) y condicionantes impuestas a proyectos, particularmente en sectores como la minería y el turismo, que han incorporado medidas de mitigación lumínica como requisito para su aprobación. Estas disposiciones administrativas reflejan una incipiente tendencia institucional a reconocer el problema y gestionarlo dentro del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

En este sentido, tales resoluciones no solo representan precedentes relevantes para la práctica administrativa, sino que también constituyen insumos valiosos para fundamentar propuestas normativas y demostrar la factibilidad de integrar explícitamente la variable lumínica en la regulación ambiental.

METODOLOGÍA

La investigación adoptará un enfoque cualitativo, de tipo exploratorio y descriptivo, centrado en el análisis documental y bibliográfico en bases de datos científicas (Web of Science, Scopus, Google Scholar), artículos especializados, revistas científicas y repositorios institucionales. El diseño metodológico resulta pertinente para abordar los vacíos normativos, los impactos ecológicos y las oportunidades de mejora en la regulación ambiental frente a la contaminación lumínica en los ecosistemas altoandinos del norte de Chile. Se trata de un diseño optimizado porque integra en paralelo la caracterización ecológica y el análisis jurídico-institucional, lo que permite reducir tiempos de recopilación y asegurar mayor coherencia en los hallazgos (Piza, Amaiquema & Beltrán, 2019).

El estudio se complementará con un análisis documental sistemático y un análisis espacial mediante SIG, integrando caracterización ecológica, evaluación normativa y formulación de lineamientos prácticos. Esta estrategia responde directamente al objetivo general, al permitir identificar vacíos legales y relacionarlos con evidencia científica sobre biodiversidad y contaminación lumínica, empleando métodos eficientes en tiempo y recursos sin renunciar al rigor técnico (Dulzaides & Molina, 2004).

La estrategia metodológica integra tres líneas de trabajo fundamentales:

- Revisión bibliográfica y levantamiento de información ecológica, para caracterizar ecosistemas representativos y especies relevantes.
- Análisis jurídico, normativo y documental, con el propósito de identificar el alcance, los vacíos y la aplicabilidad de los instrumentos existentes.
- Síntesis y formulación de lineamientos, elaborados a partir de la evidencia recopilada y validados con expertos y referencias especializadas.

La ejecución de las actividades en paralelo optimiza tiempos y facilita la triangulación de hallazgos, fortaleciendo la validez y consistencia de los resultados.

Diseño del Estudio

- **Enfoque cualitativo:** se justifica por el carácter interpretativo del estudio, que busca comprender en profundidad cómo la normativa ambiental chilena aborda, o no, los impactos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad altoandina. El análisis se centra en discursos, marcos legales y bibliografía especializada, sin recurrir a métodos cuantitativos (Piza, Amaiquema & Beltrán, 2019).
- **Estudio no experimental:** no se manipulan variables ni se interviene directamente sobre el objeto de estudio. El análisis se basa en fuentes secundarias como normativa y literatura científica. No se requiere consentimiento informado, aunque se asegura la correcta citación de fuentes y la integridad académica (Velázquez, 2023).

- **Diseño exploratorio:** aborda la problemática emergente poco estudiada en Chile, la relación entre contaminación lumínica y biodiversidad desde una perspectiva normativa, abriendo camino a nuevas preguntas y conocimiento inicial (Kiss, 2025).
- **Método descriptivo:** permite caracterizar los elementos clave del marco legal vigente y los impactos de la luz artificial en los ecosistemas altoandinos, identificando patrones, vacíos y posibles mejoras (Lifeder, 2022).

De acuerdo a lo anterior, para poder visualizar el diseño de enfoque, se realiza un diagrama de proceso, el cual se presenta en la siguiente Figura 1:

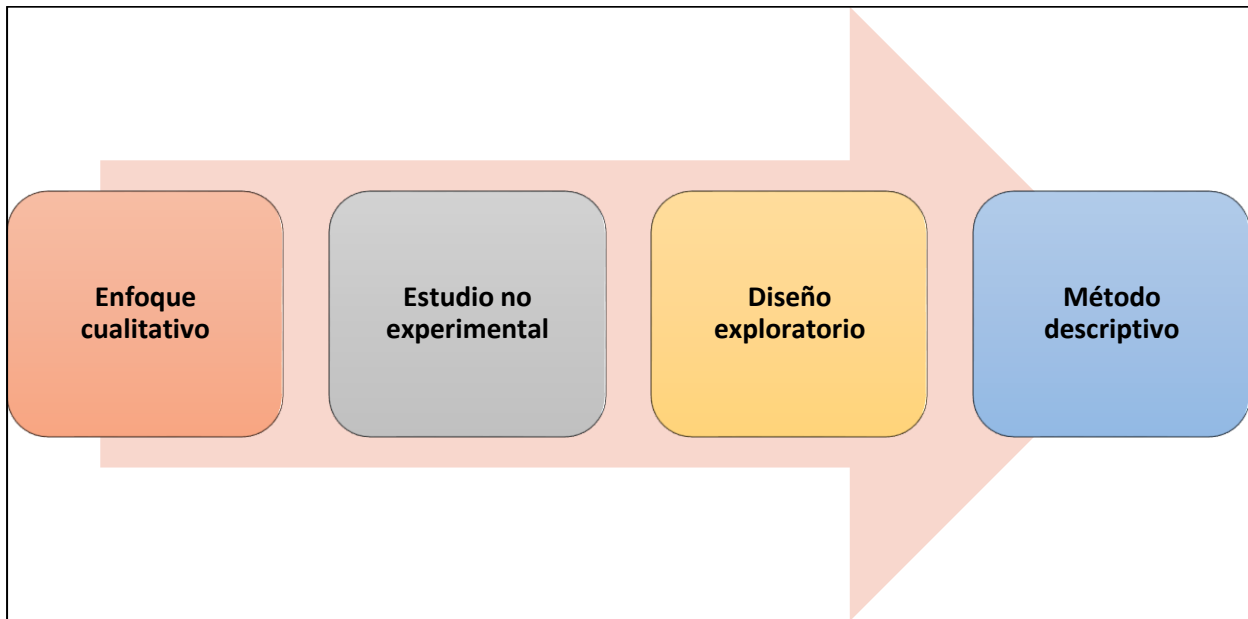


Figura N° 1. Diagrama de proceso del diseño del estudio.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Protocolos e instrumentos

- **Revisión bibliográfica:** Búsqueda sistemática en Web of Science, Scopus, Google Scholar y repositorios institucionales con palabras clave como contaminación lumínica, biodiversidad altoandina, normativa ambiental Chile.
- **Análisis normativo:** Clasificación de leyes, decretos y reglamentos según jerarquía y alcance territorial, y evaluación aplicabilidad.
- **Instrumentos:** Matrices de análisis de brechas normativas, fichas de caracterización de especies, software SIG (ARCGIS).
- **Validación:** Triangulación de fuentes científicas, institucionales y legales, revisión cruzada con expertos y control de consistencia interna.

Contraste de métodos y justificación del proyecto

Se evaluaron métodos alternativos como experimentos de campo con control lumínico y monitoreo fotométrico de largo plazo. Sin embargo, por los recursos y plazos disponibles, se optó por un análisis documental sistemático, apoyado en bases de datos científicas, reportes institucionales y normativa vigente, complementado con análisis SIG (ARCGIS, VIIRS, World Atlas) y validación experta. (Gaston, Visser & Hölker, 2015) (Dulzaides & Molina, 2004).

Desarrollo de la observación metodológica: Viabilidad y Adecuación

Para fortalecer la rigurosidad y coherencia del enfoque metodológico, es necesario explicitar tres componentes clave, los criterios de inclusión y exclusión de documentos analizados, la estructura final de la matriz normativa, y las propiedades técnicas de las capas SIG empleadas junto con el objetivo del análisis espacial.

En primer lugar, se deben definir claramente los criterios de inclusión de documentos normativos, técnicos y científicos, considerando aspectos como, pertinencia temática con la contaminación lumínica y el skyglow, aplicabilidad territorial (nacional, regional o local), vigencia temporal, y disponibilidad de información verificable. Complementariamente, los criterios de exclusión deben señalar la omisión de documentos obsoletos, sin respaldo institucional, o que no presenten relación directa con la problemática de estudio, evitando sesgos y reforzando la trazabilidad de la revisión normativa y bibliográfica.

En segundo lugar, la estructura de la matriz normativa final debe estar claramente descrita, indicando las variables o categorías utilizadas para analizar cada instrumento jurídico, tales como ámbito de aplicación, objetivos, exigencias técnicas, mecanismos de control y fiscalización, vacíos identificados, oportunidades de mejora y su relación con estándares internacionales de buenas prácticas (por ejemplo, criterios dark-sky friendly). Explicitar esta estructura garantiza transparencia en el proceso de evaluación comparada y facilita la replicabilidad del análisis.

En tercer lugar, es necesario especificar con precisión las propiedades de las capas SIG utilizadas, incluyendo su fuente (instituciones oficiales o bases de datos públicas), escala cartográfica, sistema de referencia geográfica, resolución espacial y fecha de actualización. Asimismo, debe justificarse la pertinencia del análisis espacial, señalando cómo estas capas contribuyen al diagnóstico del problema, por ejemplo, delimitación de zonas de sensibilidad lumínica, identificación de áreas de conflicto entre infraestructura luminosa y ecosistemas altoandinos, o apoyo al análisis de cumplimiento normativo territorial. La explicación de estos elementos refuerza la viabilidad del enfoque metodológico, demuestra la adecuación de los insumos utilizados y proporciona una base sólida para la interpretación de resultados y la formulación de conclusiones.

A continuación, se presenta en Tabla 5 los criterios de inclusión y exclusión, también en Tabla 6 se podrá apreciar los criterios para la selección de capas SIG utilizadas en el análisis espacial:

Tabla N° 5. Criterios de Inclusión y Exclusión de Documentos.

Categoría	Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Pertinencia temática	Documentos directamente relacionados con contaminación lumínica, <i>skyglow</i> , gestión ambiental, normativa luminaria o ecosistemas nocturnos.	Documentos cuyo contenido no aborda iluminación artificial, impactos ambientales o regulación asociada.
Relevancia normativa	Normas vigentes (leyes, decretos, protocolos, guías técnicas) aplicables a zonas protegidas, astronomía, biodiversidad y territorio.	Normativa derogada, borradores sin validación institucional, o instrumentos legales sin relación con iluminación o territorio.
Escala territorial	Material con aplicabilidad nacional, regional o local dentro del área de estudio; normativa comparada de referencia internacional.	Documentos limitados a territorios no comparables o irrelevantes para el contexto chileno o altoandino.
Rigurosidad y validez	Informes técnicos, estudios científicos revisados por pares, bases institucionales oficiales, agencias estatales o centros de investigación reconocidos.	Publicaciones sin respaldo técnico, artículos opinativos, información no verificada o procedente de fuentes informales/no académicas.
Actualidad temporal	Documentos publicados o actualizados en los últimos 10–15 años, especialmente relevantes para tendencias recientes de <i>skyglow</i> .	Material desactualizado que no refleja el estado actual del fenómeno ni las tecnologías modernas de iluminación.
Accesibilidad y verificabilidad	Documentos disponibles en repositorios oficiales, bibliotecas digitales, sitios institucionales o artículos con acceso verificable.	Material sin acceso público, fuentes no reproducibles o documentos sin datos contrastables.
Utilidad metodológica	Aporta datos, conceptos, criterios técnicos o parámetros relevantes para la matriz normativa, el diagnóstico o el análisis espacial.	No aporta insumos metodológicos, ni variables comparables ni información útil para el análisis.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Tabla N° 6. Criterios para la Selección de Capas SIG Utilizadas en el Análisis Espacial

Categoría	Criterios de Selección	Criterios de No Selección
Pertinencia temática	Capas relacionadas con usos de suelo, áreas protegidas, biodiversidad, infraestructura luminosa, asentamientos humanos, alturas y relieve.	Capas no vinculadas a iluminación, territorio o sensibilidad ecológica (por ejemplo, capas socioeconómicas no relevantes).

Escala y resolución espacial	Resolución suficiente para distinguir zonas de interés altoandino, áreas urbanas, corredores ecológicos y fuentes luminosas relevantes.	Capas con resolución demasiado baja que impidan análisis espacial fino o que distorsionen la representación del territorio.
Actualización y vigencia	Datos recientes (últimos 5–10 años) o series temporales útiles para analizar cambios en desarrollo urbano o infraestructura luminosa.	Capas desactualizadas, sin metadatos temporales o que no reflejen la configuración territorial vigente.
Fuente y confiabilidad	Capas provenientes de organismos oficiales (MMA, SMA, CONAF, IGN, NASA, ESA) o repositorios científicos reconocidos.	Capas sin respaldo institucional, sin metadatos, o generadas por terceros no verificables.
Compatibilidad técnica	Capas con sistema de referencia claro (por ej. WGS84 o sistema oficial chileno), formato estándar (shp, geojson, raster) y buena interoperabilidad.	Datos con sistemas de referencia desconocidos, formatos incompatibles o errores topológicos que impidan su uso.
Relevancia para el objetivo del análisis	Capas que permitan: identificar zonas de sensibilidad lumínica, evaluar proximidad a ecosistemas, caracterizar gradientes urbanos-rurales, y apoyar la interpretación del <i>skyglow</i> .	Capas que no aportan información para responder preguntas del diagnóstico ni contribuyen al análisis de impacto lumínico.
Densidad y nivel de detalle	Información que permita análisis espacial multiescala (urbano, periurbano, rural, cordillerano), con atributos útiles.	Capas con atributos incompletos, sin clasificación interna o con vacíos críticos en campos relevantes.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Actividades principales y vinculación directa con los objetivos

El desglose de los objetivos específicos se organiza de manera jerárquica y secuencial, para cumplir con el objetivo general de la investigación, las actividades necesarias para los tres objetivos específicos son:

- Caracterizar la biodiversidad por tipo de ecosistema altoandino, lo que incluye la exploración bibliográfica especializada, la identificación de especies y comunidades ecológicas sensibles a la contaminación lumínica, y la evaluación preliminar de su vulnerabilidad frente a la alteración de los ciclos naturales de luz y oscuridad. Este bloque de trabajo culmina con el hito de generar un inventario de biodiversidad vulnerable, acompañado de un mapa de zonas críticas y fichas técnicas de especies.
- Recopilar en profundidad el marco legal chileno en materia de contaminación lumínica, abarcando la revisión de la normativa vigente, la valoración de su efectividad en la protección de los tipos de ecosistemas altoandinos y la identificación de vacíos, limitaciones y contradicciones

jurídicas. El producto esperado de esta fase es una matriz de análisis legal ambiental que permita identificar con precisión los vacíos normativos.

- Diseñar lineamientos estratégicos para el fortalecimiento normativo e institucional y la mitigación de los impactos, integrando la sistematización de hallazgos críticos a partir del análisis ecológico y legal, la verificación de buenas prácticas internacionales y estándares jurídicos aplicables, y la formulación de propuestas orientadas al fortalecimiento de la gestión ambiental en zonas sensibles. El resultado de este bloque será una matriz FODA, acompañada de un benchmarking internacional, mejoras institucionales y recomendaciones de políticas.

De esta manera se permite visualizar la secuencia lógica y la interrelación entre los componentes ecológicos, legales y estratégicos de la investigación, asegurando un abordaje integral de la problemática y la obtención de resultados aplicables a la gestión ambiental en contextos altoandinos.

Con el fin de abordar de manera integral la problemática de la contaminación lumínica y sus efectos en los ecosistemas altoandinos, la investigación se estructura en tres objetivos específicos que, en conjunto, permiten articular un diagnóstico ecológico, un análisis normativo y la formulación de lineamientos estratégicos.

El primer objetivo específico está orientado al levantamiento de información ecológica y bibliográfica, mediante la elaboración de fichas de especies y la construcción de un mapa de sensibilidad lumínica, lo que permitirá disponer de un inventario por ecosistema y un análisis espacial en SIG como insumo para la gestión territorial.

El segundo objetivo específico se centra en el análisis de la normativa nacional vigente, con el propósito de jerarquizar y evaluar su aplicabilidad en relación con la problemática. Este proceso culminará en una matriz normativa, que identificará grados de cumplimiento, aplicabilidad y brechas existentes, visibilizando las limitaciones del marco regulatorio actual.

Finalmente, el tercer objetivo específico busca la elaboración de lineamientos estratégicos, a través de la propuesta de ajustes normativos y medidas operativas que fortalezcan la gobernanza ambiental. Para ello se utilizarán herramientas como la matriz FODA, el benchmarking internacional y un conjunto de recomendaciones institucionales, orientadas a mejorar la gestión preventiva y coordinada de la contaminación lumínica en territorios de alto valor ecológico.

Integración de los ODS

La metodología se articula con los ODS de la Agenda 2030 (Naciones Unidas, 2022), de manera transversal, como criterio orientador de la investigación y validación de resultados:

- **ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres):** orienta la caracterización de ecosistemas altoandinos y la identificación de especies vulnerables frente a la contaminación lumínica.

- **ODS 13 (Acción por el clima):** vincula el análisis normativo y ecológico con la necesidad de fortalecer la resiliencia de los ecosistemas ante presiones antrópicas y climáticas.
- **ODS 12 (Producción y consumo responsables):** guía la evaluación de prácticas de iluminación y su compatibilidad con el uso sostenible de recursos.
- **ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles):** fundamenta la incorporación de criterios de planificación territorial y normativa urbana en la reducción de la contaminación lumínica.
- **ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos):** respalda la validación de lineamientos mediante redes de colaboración con expertos, instituciones académicas y organismos públicos.

Contribución complementaria de los ODS

Este análisis busca identificar el grado de alineación de la normativa nacional con los ODS 11, 12, 13, 15 y 17, considerando la protección de la biodiversidad, la gestión sostenible del territorio, la eficiencia energética, la gobernanza institucional y el consumo responsable con la conservación de los ecosistemas y en la reducción de los impactos ambientales derivados de las actividades humanas.

En particular, se evaluarán los criterios de protección de hábitats y especies sensibles (ODS 15), la identificación de actores clave y sinergias interinstitucionales (ODS 17), las medidas regulatorias orientadas a disminuir las emisiones lumínicas y mejorar la eficiencia energética (ODS 13), las estrategias de ordenamiento territorial que previenen impactos sobre áreas naturales y comunidades (ODS 11), y las prácticas de producción y consumo responsable (ODS 12), como se muestra a continuación en la Figura 2.

La contribución de los ODS a los objetivos específicos se abordan en los esquemas que se presentan en la Figura 3 con enfoque en caracterizar la biodiversidad; en Figura 4 como recopilar información del marco legal chileno y en el enfoque de la Figura 5 con diseñar lineamientos estratégicos, entre distintos niveles de gestión, contribuyendo así a un marco legal más coherente y sostenible que apoye la mitigación del cambio climático, la protección del patrimonio natural y el bienestar de las comunidades:

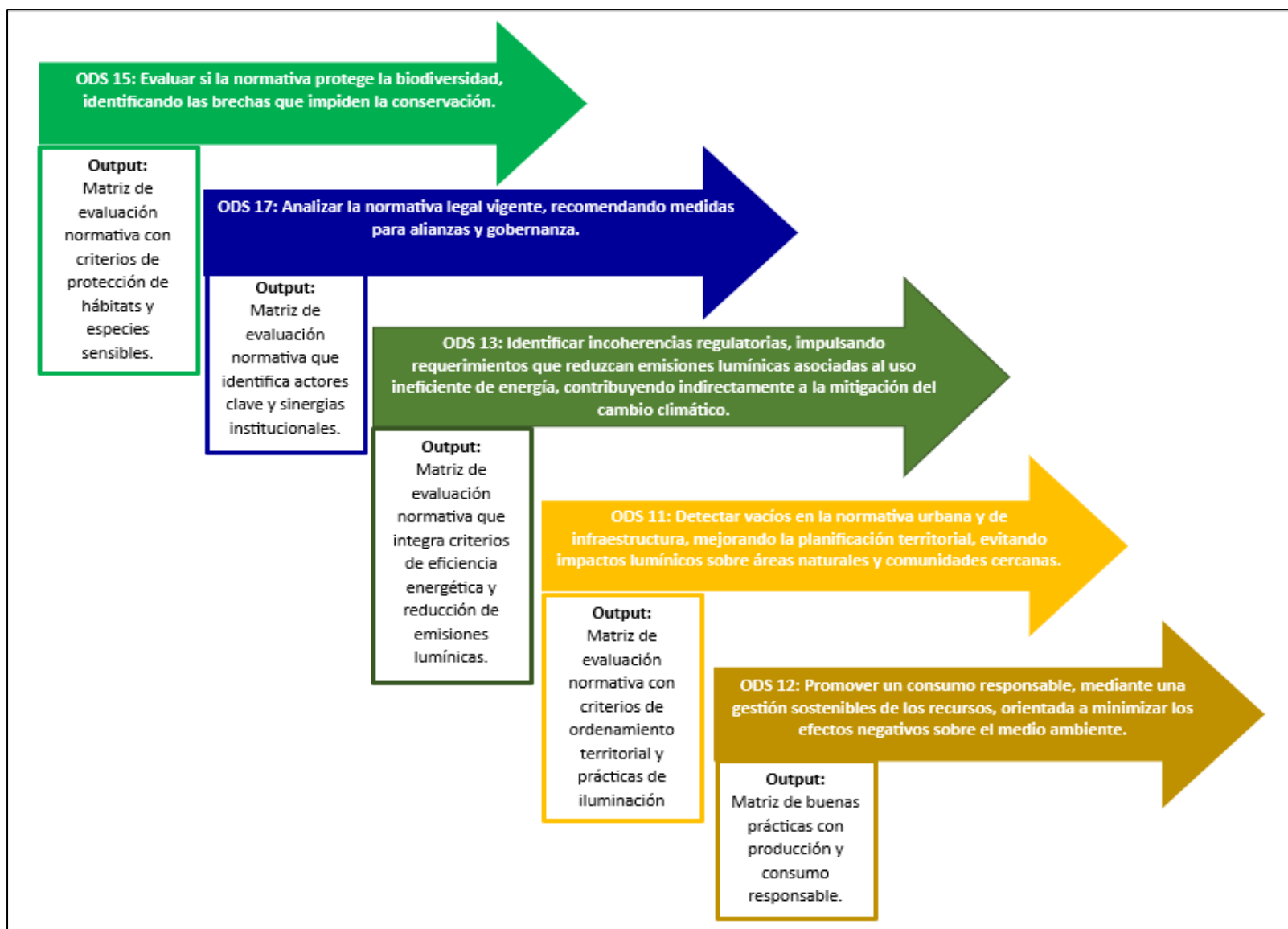


Figura N° 2. Esquema contribución de los ODS al objetivo general del TFG.

Fuente: Elaboración propia (2025).

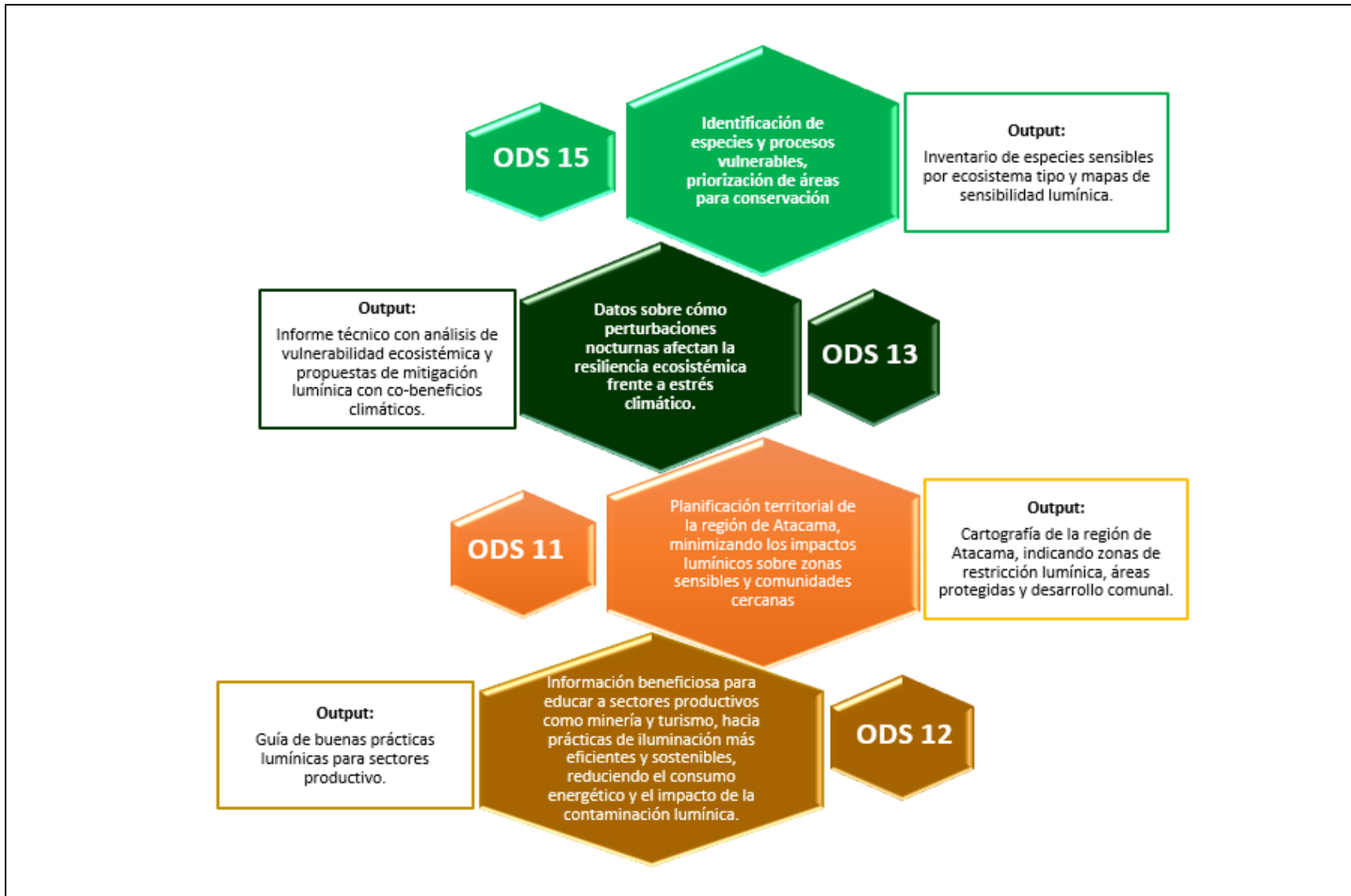


Figura N° 3. Esquema contribución de los ODS al primer objetivo específico del TFG.

Fuente: Elaboración propia (2025).

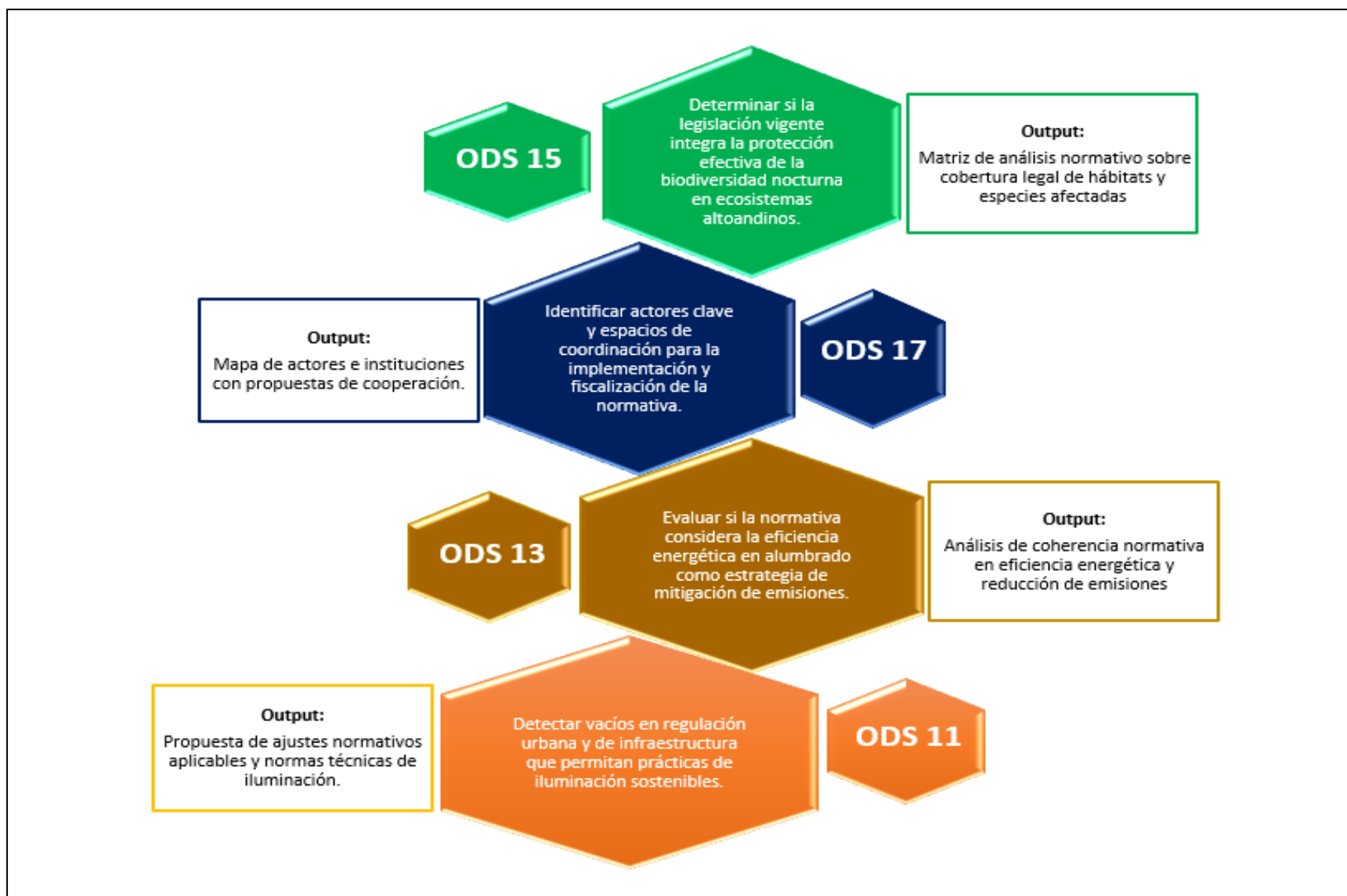


Figura N° 4. Esquema contribución de los ODS al segundo objetivo específico del TFG.

Fuente: Elaboración propia (2025).

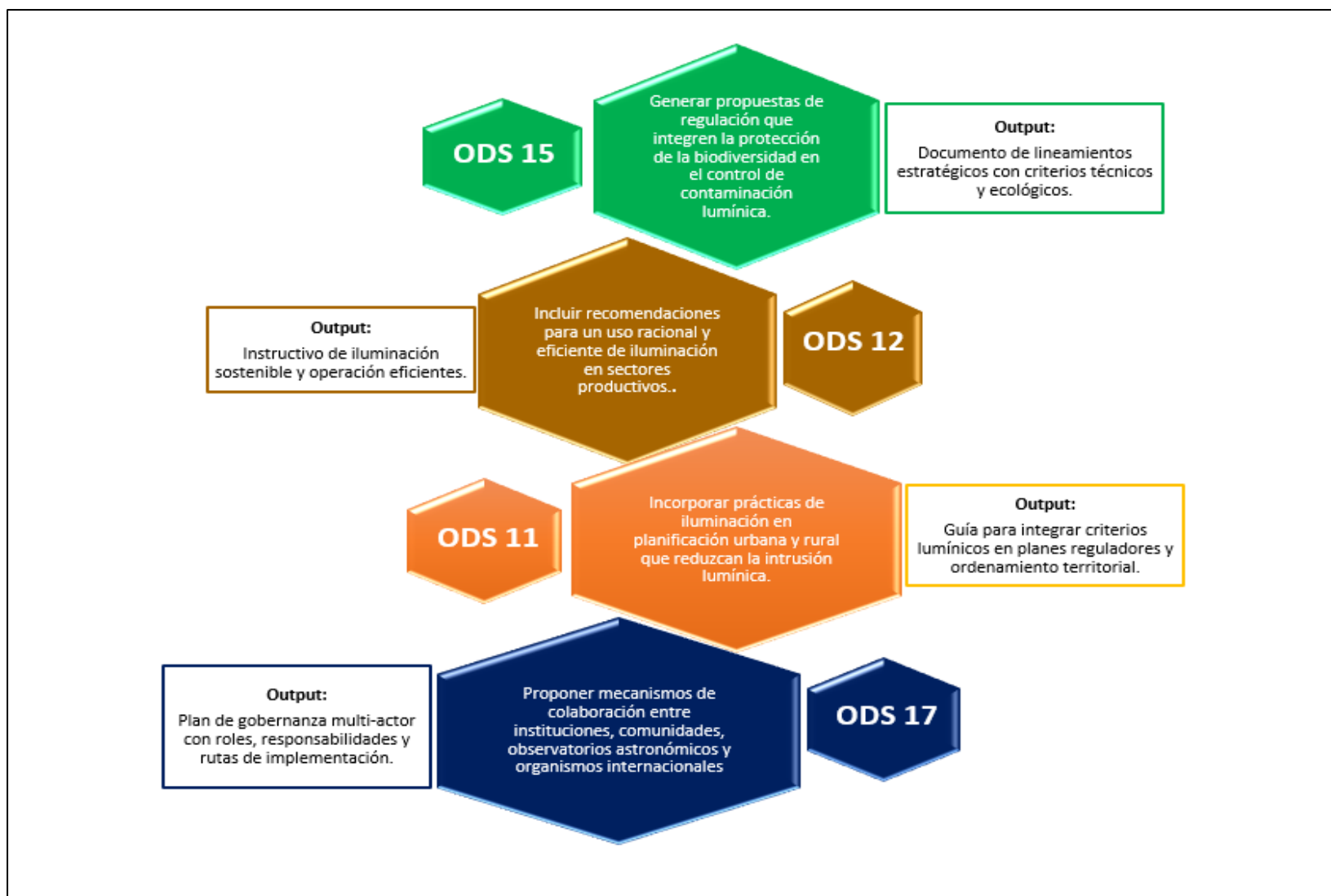


Figura N° 5. Esquema contribución de los ODS al tercer objetivo específico del TFG.

Fuente: Elaboración propia (2025).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos recopilados durante la investigación, entre la revisión documental normativa, los registros de radiancia nocturna y la evidencia bibliográfica sobre biodiversidad altoandina, este enfoque permitió correlacionar los vacíos regulatorios con los impactos ecológicos observados o potenciales, también se organizan de acuerdo con los objetivos específicos del estudio. Con la finalidad de facilitar su comprensión y su posterior discusión.

Se determinó describir los resultados más relevantes relacionados con cada una de las variables consideradas en cuadros comparativos de acuerdo a la gestión de la contaminación lumínica en Chile y otros países, como Australia, Brasil, México y Argentina. Cabe mencionar que, si bien esta regulación chilena incorpora la protección de la biodiversidad, la evidencia internacional y latinoamericana muestra diferentes enfoques y herramientas que fortalecen la gestión de la luz artificial sobre ecosistemas sensibles.

El presente análisis tiene por objetivo evaluar la efectividad del marco normativo ambiental chileno frente a los impactos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad en los ecosistemas altoandinos del norte de Chile, identificando vacíos regulatorios y oportunidades de mejora que contribuyan al fortalecimiento de su gestión ambiental.

Asimismo, se presenta un cuadro comparativo que contrasta la normativa chilena vigente (D.S. N° 1/2022 y protocolos asociados). La reducción del componente azul (< 7 %) se asocia a menor desorientación en aves nocturnas y a la mitigación del estrés fotobiológico en animales, según evidencias internacionales (Hölker, 2022). Además de referentes internacionales y latinoamericanos relevantes, tales como la guía australiana para la protección de fauna silvestre, la norma brasileña, las normas oficiales mexicanas aplicables a la conservación de biodiversidad, y las leyes provinciales argentinas orientadas a la preservación del cielo oscuro. Este análisis incorpora lecciones prácticas y recomendaciones concretas orientadas a fortalecer la regulación y su implementación en la Región de Atacama. En Tabla 7, se presenta legislación sobre contaminación lumínica y protección de la biodiversidad de otros países:

Tabla N° 7. legislación sobre contaminación lumínica y protección de la biodiversidad de otros países.

País	Legislación / instrumento vigente (resumen)	Qué regula / medidas principales	Cómo afecta / protege a ecosistemas, flora y fauna silvestre
Francia	Arrêté (Decret) del 27 dic 2018 relativo a la prevención, reducción y limitación de las molestias / nuisances lumineuses; normativa técnica que fija condiciones de diseño, horarios y obligaciones de control.	Establece obligaciones de diseño (limitación de emisiones ascendentes), horarios de apagado para edificios terciarios y comerciales, límites de temperatura de color y requisitos de registro/control para gestores de alumbrado.	Protege el cielo nocturno y reduce impactos sobre fauna (insectos, aves, quirópteros, polinizadores) al limitar emisión y espectro; prevé medidas específicas para sitios sensibles (reservas naturales, observatorios). (Francia, Ministerio de la Transición Ecológica, 2018)
Alemania	Reforma del Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) — inclusión de una nueva disposición (§41a) (Insektenschutzgesetz / Ley de protección de insectos, 2021) que articula protección frente a efectos de iluminación sobre fauna y flora; desarrollo reglamentario pendiente.	Marco legal que obliga a evitar efectos perjudiciales de la iluminación sobre animales y plantas; la ley habilita normas reglamentarias (RVO) con requisitos concretos (apantallado, horarios, limitación espectral) para instalaciones nuevas y, en algunos casos, existentes.	Orientada a reducir la luz que afecta insectos, polinizadores y otros grupos; promueve iluminación “insect-friendly” y restricciones en zonas rurales/ANP; la efectividad depende de RVO y aplicación regional. (Alemania, Bundestag, 2021)
Finlandia	No existe una ley nacional única dirigida exclusivamente a la contaminación lumínica; la cuestión se integra en la Environmental Protection Act y en guías/informes del Finnish Environment Institute (SYKE) y planes locales (Helsinki y otros).	Políticas y directrices técnicas (p. ej. recomendaciones de color ≤ 3000 K, shielding, evaluación en EIA) y planificación local para proteger áreas sensibles; la normativa ambiental general permite considerar la luz como perturbación.	Enfoque sobre EIA y planificación espacial: protege hábitats boreales, aves migratorias y fauna dependiente de ciclos nocturnos mediante medidas de mitigación en proyectos y ordenanzas municipales. La acción es técnica/planificadora más que punitiva. (Finlandia, Jari, 2014)
Chile	D.S. N° 1/2022 — Norma Lumínica (MMA):	Regula % de luz azul,	Explicita la protección de la biodiversidad (junto con

	decreto supremo nacional que fija límites de emisión, topes de luz azul, requerimientos por tipo de alumbrado y Protocolos PCL 1–4 (ensayos, medición, letreros, regularización).	temperatura de color, dirección del haz, límites de flujo y luminancia, horarios y procedimientos de medición y certificación; crea Áreas de Protección Especial con límites más estrictos.	astronomía y salud); la reducción de luz azul, abatimiento de emisión y control horario mitigan crono disrupción y desorientación de fauna (insectos, aves, tortugas, anfibios) en ecosistemas sensibles. (Chile. Ministerio de Medio Ambiente, 2024b)
Australia	National Light Pollution Guidelines for Wildlife (2023) (Departamento de Climate Change, Energy, the Environment and Water); guías estatales (ejemplo: NSW Dark Sky/Planning guidance).	Guía técnica nacional para evaluación y manejo de ALAN (Artificial Light At Night): principios de diseño, buffers por especie/hábitat, umbrales, medidas de mitigación (shielding, espectro cálido, horarios).	Directrices específicas por grupos (tortugas marinas, aves marinas, insectos). Protege fauna mediante recomendaciones operativas que se integran en EIA y planes estatales; enfoque basado en evidencia para reducir impactos ecológicos. (Australia. DCCEEW, 2023)
España	Marco nacional; regulación autonómica: Directrices UE influyen; varias comunidades han aprobado reglamentos específicos (ej. Decreto 37/2025 — Andalucía sobre protección frente a contaminación lumínica).	Reglamentos autonómicos fijan zonificación luminosa, límites y obligaciones de control; suelen incluir requisitos técnicos (shielding, temp. color, horarios) y protección de espacios Natura 2000.	Donde está regulado, reduce impacto sobre fauna nocturna (murciélagos, aves, insectos) y protege hábitats sensibles; la protección depende de la transposición autonómica y control municipal. Andalucía (2025) es un ejemplo reciente y estricto. (España, Comunidad Autónoma de Andalucía, 2025)
Italia	Legislación regional histórica contra la contaminación lumínica (varias regiones: Veneto, Lombardia, Toscana, etc.) complementada por normas técnicas; ausencia de una ley nacional única, pero fuerte tradición regional.	Normas regionales que exigen “full shielding” (apantallado total), límites de emisión y zonificación; reglas para alumbrado público y publicidad, y protección de sitios astronómicos y áreas naturales.	La regulación regional reduce dispersión luminosa y emisión espectral azul, beneficiando a fauna nocturna y preservando corredores oscuros; modelo de descentralización técnica con resultados efectivos en zonas protegidas. (Italia. Betmejo, 2007)
México	Reformas a la LGEEPA (Iniciativas y decretos desde 2019–2021) que incorporan la	Introduce los conceptos de “contaminación lumínica” y	Permite reconocer la luz como contaminación que afecta tortugas marinas, aves y polinizadores; la protección real

	contaminación lumínica como materia a regular; además ordenanzas y normas locales/municipales y algunas NOM/ESPECIFICACIONES en elaboración.	“luz intrusa” en el marco ambiental; habilita a autoridades a establecer límites, EIA y controles técnicos; implementación y NOMs aún en desarrollo/variación local.	varía mucho según entidad y municipalidad (casos costeros y ANP son prioritarios). (México, Cámara de Diputados, 2021)
Brasil	No existe (a fecha de las revisiones consultadas) una ley federal específica que regule de forma homogénea la contaminación lumínica; hay estudios, propuestas y normativas municipales/regionales y usos de instrumentos ambientales existentes (EIA, unidades de conservación).	Control se realiza por ordenanzas locales, requisitos de EIA para proyectos y protección en unidades de conservación (SNUC) pero sin parámetros nacionales estándar; literatura propone incorporación en el marco ambiental (Ley N° 6.938/1981 y discusiones legislativas).	Protección de fauna dependiente de oscuridad es fragmentaria: algunas UCS y municipios aplican restricciones (beneficiando insectos, aves, tortugas), pero la ausencia de norma federal uniforme limita la cobertura nacional. Estudios sugieren crear parámetros técnicos nacionales. Brasil. Marques, 20222)
Argentina	Predominio de normativa provincial y municipal (ejemplo Ley provincial de Misiones para conservación del cielo oscuro, ordenanzas locales y proyectos de ley nacionales en discusión). No hay una norma federal homogénea nacional dedicada exclusivamente a contaminación lumínica.	Leyes provinciales y ordenanzas regulan zonificación, protección de cielos oscuros, requisitos para alumbrado y promoción de astroturismo; criterios incluyen shading, horarios y límites en áreas protegidas.	Donde se aplican, protegen especies y hábitats locales (reducción de desorientación en aves e insectos, protección de sitios de nidificación); la cobertura es desigual entre provincias. Misiones es ejemplo de regulación proactiva. (Argentina. Misiones, Provincia, 2022)

Fuente: Elaboración propia (2025).

Comparación y vacíos normativos en Latinoamérica

Al profundizar en normativas de países latinoamericanos, se puede verificar vacíos que surgen al comparar los puntos fuertes entre ellos, como se demuestra en Tabla 8:

Tabla N° 8. Comparación y vacíos normativos en Latinoamérica.

Aspecto	Qué países lo hacen bien	Vacío común
Inclusión explícita de la biodiversidad Especies amenazadas o endémicas en regulación lumínica	Chile lo hace claramente Argentina hay reconocimiento México tiene instrumentos generales de protección de especies que podrían ampliarse	Brasil parece no tener regulación nacional con ese enfoque explícito Pocas normas que obliguen restricciones lumínicas específicas para especies endémicas.
Áreas especiales Protección según zonas biogeográficas	Chile define Áreas de Protección Especial, zonas de reproducción, áreas de biodiversidad Argentina provinciales con cielos oscuros México tiene áreas naturales protegidas con restricciones generales (ecosistemas, especies en riesgo).	Las normas son heterogéneas No siempre hay mapas de zonas endémicas identificadas para regulación lumínica Falta de lineamientos técnicos uniformes para estos casos.
Estándares técnicos específicos para proteger fauna nocturna o ecosistemas (por ejemplo, espectro, dirección de luz, periodos de oscuridad)	Chile ya regula espectro (restricción luz azul), horarios de apagado pantallas, exigencias diferenciadas en áreas protegidas. Mex-o/Argentina menos desarrollados en ese nivel de detalle.	En muchos casos, las leyes de protección ambiental no contemplan detalle de iluminación, solo lo ambiental general Pocos estándares técnicos claros.
Mecanismos de fiscalización sobre biodiversidad vinculada a luz artificial	Nuevos reglamentos, protocolos en Chile (Planes RECOGE, controles), ordenanzas provinciales en Argentina y México tiene evaluación de impacto, pero menos evidencia de fiscalización específica para luz.	Dificultad en monitoreo, falta de estudios locales para especies; pocas sanciones específicas por contaminación lumínica en relación a biodiversidad.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis comparativo de la normativa y propuestas de mejora para la Región de Atacama

➤ Incorporar el enfoque por taxones de la guía australiana

Aunque Chile cuenta con un marco normativo y técnico avanzado para la regulación de la contaminación lumínica, la guía australiana de iluminación y fauna silvestre, aporta un nivel de especificidad que podría enriquecer la aplicación territorial, lo que permite adaptar las restricciones lumínicas a las sensibilidades fisiológicas de cada especie. En el contexto de Atacama, se recomienda incorporar anexos técnicos en las ordenanzas municipales o en las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) que especifiquen horarios de apagado, límites espectrales, niveles máximos de iluminancia y protocolos de monitoreo biológico según taxón y hábitat. Esta adaptación favorecería una gestión ambiental basada en evidencia científica y orientada a la conservación de especies endémicas del desierto altoandino.

➤ Implementar zonificación fina y mapas de superposición

Una herramienta de gestión clave consiste en desarrollar cartografía oficial de superposición que integre la distribución de especies sensibles o endémicas, por ejemplo, zonas del fenómeno del Desierto Florido, con mapas satelitales de emisión lumínica nocturna. Esta integración, coordinada por la autoridad ambiental nacional o la SEREMI respectiva, permitiría identificar Áreas de Protección Nocturna (APN) y aplicar restricciones espaciales y temporales al alumbrado artificial. Con ello, los criterios del D.S. N° 1/2022 pasarían de ser normativos a operativos, facilitando la priorización territorial en la Región de Atacama y la protección efectiva de sus ecosistemas altoandinos.

➤ Combinar normas técnicas con criterios ecológicos de conservación

La norma brasileña ABNT NBR 5101, centrada en el diseño y eficiencia de sistemas de alumbrado público, representa un modelo de regulación técnica replicable. Sin embargo, su aplicación en Atacama debería complementarse con criterios ecológicos derivados tanto del D.S. N° 1/2022 como de la evidencia científica sobre foto polución. En concreto, se propone que las Áreas de Protección Nocturna adopten temperaturas de color correlacionadas (CCT) iguales o inferiores a 3000 K, junto con una reducción significativa del porcentaje de luz azul (<10%), para mitigar efectos disruptivos sobre la fauna nocturna. Esta sinergia entre eficiencia técnica y sensibilidad ecológica permitiría compatibilizar infraestructura luminosa con conservación de biodiversidad.

➤ Fortalecer los protocolos de certificación y fiscalización

Resulta fundamental exigir la certificación previa de luminarias bajo los Protocolos de Control Lumínico (PCL N° 1 y N° 2) antes de su instalación en zonas ambientalmente sensibles. Además, se recomienda implementar sistemas de monitoreo en condiciones reales, combinando estaciones fijas de medición luminosa con muestreos biológicos para evaluar respuestas de fauna. Este enfoque, coherente con las recomendaciones australianas y las exigencias del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), mejoraría la trazabilidad y cumplimiento de las medidas establecidas en las RCAs, fortaleciendo la fiscalización ambiental en Atacama.

➤ Mejorar la articulación entre los EIA/RCA y las normativas locales

Uno de los desafíos persistentes en Atacama radica en la brecha entre la normativa nacional y su aplicación práctica en proyectos sometidos al SEIA. Para subsanarla, se propone incorporar

modelaciones luminotécnicas detalladas en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), así como condiciones específicas en las RCAs, que incluyan certificados de cumplimiento, cronogramas de recambio tecnológico y programas de monitoreo de fauna. Esta articulación fortalecería la coherencia entre el nivel normativo y la ejecución territorial, garantizando una gestión ambiental integrada y preventiva frente a la contaminación lumínica en ecosistemas altoandinos.

Evidencias normativas complementarias, hallazgos clave como ordenanzas e instrumentos locales en la Región de Atacama

El análisis de la normativa regional y local, que se presenta en Tabla 9, permitió identificar instrumentos complementarios relevantes, tales como ordenanzas municipales, resoluciones de calificación ambiental (RCA) y planes territoriales que inciden en la gestión de la contaminación lumínica en la Región de Atacama. Estos hallazgos evidencian tanto avances normativos en la incorporación de criterios de protección ambiental como brechas en su aplicación y fiscalización, lo que refuerza la necesidad de fortalecer la coherencia entre las disposiciones locales y el marco nacional establecido por el D.S. N° 1/2022.

Tabla N° 9. Tabla comparativa de ordenanzas municipales en la Región de Atacama.

Municipalidad	Norma u ordenanza vigente	Contenido relacionado con contaminación lumínica	Vínculo con la protección de la biodiversidad	Oportunidades de mejora
Caldera	Ordenanza Local de Medio Ambiente (2022)	Establece cumplimiento obligatorio del D.S. N° 1/2022 del MMA y uso de luminarias certificadas.	Indirecto: la norma técnica protege hábitats costeros donde habitan especies endémicas, como el pilpilén y el chungungo.	Incorporar zonificación de áreas con valor ecológico nocturno y límites de temperatura de color.
Huasco	Ordenanza de Gestión Ambiental Local (2023)	Promueve fiscalización y educación ambiental sobre alumbrado público y privado.	Débil: no explicita relación con la fauna marina o murciélagos insectívoros presentes en quebradas y borde costero.	Integrar monitoreo biológico y campañas de reducción lumínica en zonas de anidación.
Vallenar	Reglamento Municipal de Iluminación y Espacios Públicos (2021)	Define contaminación lumínica y regula intensidad y dirección del alumbrado.	Potencial: su definición permite vincular futuras actualizaciones con efectos sobre la fauna del valle del Huasco.	Actualizar la ordenanza para incluir criterios ecológicos y adaptar luminarias en áreas rurales.

Freirina	Ordenanza Municipal de Protección Ambiental (2022)	Limita actividades que alteren el paisaje natural y promueve conservación del Desierto Florido.	Moderado: protege flora nativa y especies endémicas que dependen de ciclos de oscuridad estacionales.	Incluir controles específicos a iluminación artificial en rutas turísticas y zonas de observación.
Copiapó	Instrumentos de planificación ambiental y urbana (SEA, 2024)	Requiere evaluación del impacto lumínico en proyectos con influencia sobre fauna o paisaje nocturno.	Directo: reconoce la necesidad de estudios lumínicos en el Sistema de Evaluación Ambiental.	Fortalecer su aplicación a proyectos energéticos y mineros; promover áreas de oscuridad protegida.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Análisis comparativo de la gestión local frente a la contaminación lumínica en la Región de Atacama

El análisis evidencia que, si bien las municipalidades de la Región de Atacama han comenzado a reconocer la problemática de la contaminación lumínica dentro de sus instrumentos normativos y de planificación, solo el municipio de Copiapó incorpora de manera explícita la evaluación de los impactos sobre la fauna y los ecosistemas locales. En la mayoría de los casos, las disposiciones asociadas a la iluminación artificial se enfocan principalmente en criterios de eficiencia energética o control de la contaminación visual, sin establecer una vinculación sistemática con la conservación de la biodiversidad endémica, característica de los ambientes áridos, costeros y altoandinos de la región.

Asimismo, se observa una dependencia normativa del D.S. N° 1/2022 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), al cual las municipalidades suelen remitir la regulación técnica sin operativizar sus disposiciones en medidas territoriales concretas. Entre estas medidas destacan la limitación del flujo hemisférico superior, la gestión del espectro lumínico y la delimitación de zonas de oscuridad prioritaria, las cuales aún no se encuentran implementadas a nivel local. Esta situación genera una brecha entre la normativa nacional y su aplicación en el territorio, especialmente en aquellos ecosistemas sensibles altoandinos, costeros y desérticos, donde los efectos lumínicos pueden alterar los ritmos circadianos, la conducta reproductiva y las dinámicas ecológicas de especies vulnerables a la luz artificial.

Desglose de la nueva norma lumínica (D.S. N° 1/2022 MMA)

Resumen y alcance: La norma surge ante el aumento de la contaminación lumínica y sus efectos en salud humana y biodiversidad, busca que la protección ambiental no solo considere la calidad astronómica de los cielos nocturnos para la observación astronómica, sino también biodiversidad y salud humana como objetos de protección. Se aplica al territorio nacional completo, no solo zonas específicas especiales.

Principales modificaciones y exigencias: Se reduce la emisión permitida de luz azul, de un máximo del 15 % al 7 % en general, y en las Áreas de Protección Especial, se exige un límite más estricto de 1 % de luz

azul. Se introducen límites para distintos tipos de alumbrado, peatonal, vehicular, industrial, ornamental, deportivo, publicidad y letreros. Se establecen exigencias como dirección del haz de luz, límite de intensidad luminosa, flujo luminoso, temperatura de color, emisión por reflexión, luminancia, horarios de funcionamiento. Los nuevos protocolos técnicos de medición y control, especifican cómo evaluar el cumplimiento:

- Protocolo de análisis y ensayos para luminarias y proyectores exteriores (PCL N° 1)
- Protocolo de medición del cumplimiento del límite de emisión (PCL N° 2)
- Protocolo específico para avisos y letreros luminosos (PCL N° 3)
- Protocolo para regularizar fuentes existentes (PCL N° 4)

Establece plazos de vigencia: La norma entra en vigencia 12 meses después de su publicación en el Diario Oficial.

Enfoque de Protección Ambiental y Biodiversidad

- **Ampliación de los objetos de protección:** La nueva norma amplía los fines de protección. Se establecen niveles máximos de emisión de luz artificial hacia el hemisferio superior con el objeto de prevenir y mitigar la contaminación lumínica que afecta la observación astronómica, la biodiversidad y la salud humana. Esto significa que ya no se trata solo de conservar el cielo oscuro para los observatorios, sino también de reducir los impactos ecológicos de la iluminación artificial en flora y fauna.
- **Reconocimiento de los efectos ecológicos:** La norma y su sitio explicativo destacan que la luz artificial nocturna; Altera los ciclos circadianos de animales, plantas y humanos; Interfiere en la reproducción, migración y alimentación de especies nocturnas; Modifica ecosistemas altoandinos, desérticos y costeros por el desbalance entre oscuridad natural y emisiones artificiales. Esto se alinea directamente con investigaciones en ecología de la luz, escotobiología y ecotoxicología lumínica, disciplinas emergentes que evalúan la afectación lumínica en ecosistemas.
- **Zonas de protección especial:** La norma establece Áreas de Protección Especial, donde el límite de luz azul permitido es de solo 1 %. Estas zonas se definen por su importancia astronómica, ecológica y/o de biodiversidad.
- **Presencia de especies sensibles o ecosistemas frágiles:** Los parques nacionales, humedales, zonas RAMSAR (humedales designados como de importancia internacional para la conservación de la biodiversidad y el sustento humano o reservas naturales), pueden quedar bajo esta categoría, fortaleciendo la protección legal de la fauna nocturna (aves, murciélagos, insectos, anfibios).

Enfoque Técnico para Conservación

Los protocolos técnicos (PCL N° 1 al N° 4) incorporan exigencias que indirectamente benefician la biodiversidad:

- Reducción del flujo luminoso hacia el cielo y hacia zonas no deseadas.
- Control del espectro de emisión menos azul, menos perturbación en fauna.
- Regulación del horario de funcionamiento para evitar luz innecesaria durante la noche.

Análisis integrado de la vulnerabilidad ecológica, el marco normativo y los lineamientos de gestión frente a la contaminación lumínica en ecosistemas altoandinos del norte de Chile

1. Caracterización de la biodiversidad altoandina y vulnerabilidad frente a la alteración de los ciclos luz y oscuridad

Los resultados del primer objetivo específico, confirma que los ecosistemas altoandinos del norte de Chile, comprenden cojines vegetales, tolares y pastizales de altura, presentan una biodiversidad altamente adaptada a la estabilidad de los ciclos naturales de luz y oscuridad, determinante para los procesos fenológicos, reproductivos y conductuales. En el caso de la fauna, especies de hábitos nocturnos o crepusculares, como quirópteros, roedores endémicos, anfibios altoandinos y aves de actividad nocturna, exhiben patrones de alimentación, migración y reproducción estrechamente vinculados a la foto periodicidad.

La exposición a la sobreiluminación artificial genera alteraciones que pueden comprometer estas dinámicas ecológicas. Entre las evidencias obtenidas destacan:

- Disminución en las detecciones de especies nocturnas en puntos de mayor radiancia
- Correlaciones entre la intensidad espectral, particularmente la fracción azul y cambios conductuales asociados a evasión o estrés
- Documentación bibliográfica que respalda la relación entre la exposición lumínica prolongada y procesos de desorientación, reducción del éxito reproductivo y alteraciones fisiológicas.

Estos hallazgos sugieren que los ecosistemas altoandinos, pese a su aparente resiliencia ambiental, mantienen una elevada sensibilidad ecológica frente a la contaminación lumínica, lo que exige incorporar indicadores de vulnerabilidad específicos en los procesos de evaluación ambiental.

2. Efectividad del marco legal y actualización normativa D.S. N° 1/2022 y protocolos asociados

El resultado del segundo objetivo específico, corresponde a un análisis normativo del Decreto Supremo N° 1/2022 del Ministerio del Medio Ambiente, sustituye al derogado D.S. N° 43/2012, esto representa un avance sustantivo en la regulación de la contaminación lumínica en Chile. Esta nueva norma amplía sus objetivos, pasando de una protección centrada en la astronomía a una visión integral que abarca la biodiversidad y la calidad de vida de las comunidades humanas.

El D.S. N° 1/2022 incorpora un enfoque territorial diferenciado, complementado con los Protocolos de Control Lumínico (PCL N° 1, N° 2 y N° 3), los cuales definen los procedimientos para ensayos, certificación de luminarias y verificación de cumplimiento. La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), junto con el Instituto Nacional de Normalización (INN), ha establecido resoluciones y metodologías oficiales que permiten aplicar criterios técnicos homogéneos en la fiscalización de fuentes emisoras de luz artificial.

Entre las implicaciones más relevantes se observa:

- Una ampliación de la cobertura territorial, que permite incorporar zonas ecológicamente sensibles fuera de las áreas astronómicas tradicionales, cerrando vacíos normativos históricos
- Requisitos técnicos más estrictos, como la certificación obligatoria de luminarias y la medición de parámetros cuantitativos (lux, radiancia, distribución espectral), lo que fortalece la trazabilidad y la capacidad de fiscalización ambiental

En conjunto, estos elementos consolidan la base técnica del control lumínico en Chile, aunque su efectividad aún depende de su correcta implementación y articulación con las políticas regionales.

3. Integración teórica, empírica, contradicciones, desafíos y oportunidades de profundización

El resultado del tercer objetivo específico, estudia y revela una contradicción estructural. Si bien Chile cuenta con un marco técnico y normativo robusto, respaldado por el D.S. N° 1/2022 y sus protocolos asociados, persisten barreras prácticas que impiden su traducción inmediata en beneficios ecológicos tangibles. Entre las principales limitaciones se identifican, la escasa capacidad de fiscalización en zonas rurales y altoandinas, la ausencia de líneas base nocturnas de biodiversidad, y fragmentación institucional en la aplicación de competencias ambientales.

En consecuencia, se plantea que la regulación vigente establece qué medir y cómo certificar, pero no define aún cómo traducir dichos resultados técnicos en mejoras efectivas sobre la fauna y flora afectada. Para avanzar hacia una gestión más integrada se requieren monitoreos ecológicos vinculados a los umbrales normativos, que permita relacionar valores de radiancia o espectro con respuestas biológicas observables. También una planificación territorial nocturna, incorporando zonas de amortiguamiento lumínico o Áreas de Protección Nocturna (APN), además de programas de cumplimiento ambiental con indicadores biológicos, que integren los resultados de campo en la toma de decisiones públicas y privadas de las zonas afectadas.

Esta integración teórico empírica constituye un paso esencial para fortalecer la gobernanza lumínica en los ecosistemas sensibles altoandinos, garantizando la coherencia entre el conocimiento científico, la regulación ambiental y la gestión territorial efectiva.

4. Resultados espaciales derivados del análisis SIG

El análisis espacial realizado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió integrar los datos de radiancia nocturna (VIIRS-DNB) con la distribución territorial de los ecosistemas altoandinos del norte de Chile. Los resultados muestran que las mayores intensidades de luminancia artificial se concentran en las zonas de influencia de faenas mineras, rutas logísticas interurbanas y perímetros urbanos en expansión, generando un gradiente de iluminación que se superpone con áreas ecológicamente sensibles como bofedales, vegas, salares y humedales altoandinos. Los SIG evidenciaron patrones espaciales relevantes:

- Incremento de radiancia nocturna en corredores asociados a Calama (Chuquicamata, Ollagüe), Antofagasta (Sierra Gorda) y Copiapó (Diego de Almagro).
- Expansión lumínica hacia zonas de amortiguación de áreas protegidas y Sitios Ramsar, especialmente en zonas con presencia de flamencos andinos, flamencos chilenos, taguas altiplánicas y vicuñas.
- Fragmentación del paisaje nocturno, donde espacios tradicionalmente oscuros muestran parches de luminancia creciente.
- La lectura espacial es clave para comprender que la contaminación lumínica no se distribuye de manera uniforme, sino que responde a lógicas territoriales de desarrollo productivo que afectan directamente la conectividad ecológica nocturna.

5. Mapas preliminares de zonas de alta sensibilidad lumínica

A partir del cruce entre radiancia nocturna, sensibilidad ecológica por tipo de ecosistema y distribución de especies vulnerables, se generaron mapas preliminares que identifican Zonas de Alta Sensibilidad Lumínica (ZASL). Estas zonas corresponden a sectores donde el aumento de iluminación artificial tiene mayor probabilidad de generar impactos críticos en la biodiversidad. Entre las ZASL identificadas destacan:

- **Cuenca del Salar de Atacama:** área crítica para la reproducción y alimentación del flamenco andino (Anexo 2).
- **Alto Loa:** territorio clave para la conectividad de vicuñas y micromamíferos nocturnos (Anexo 3).
- **Complejo lacustre Surire, Colchane:** zonas de nidificación de aves altoandinas de comportamiento crepuscular nocturno (Anexo 4).
- **Cordón fronterizo Ollagüe, Uyuni:** hábitat de especies migratorias y de corredores ecológicos transfronterizos (Anexo 5).

Los mapas en Anexos 2,3,4 y 5, permiten visualizar la ubicación demográfica y hábitats sensibles, lo que constituye una herramienta esencial para la toma de decisiones territoriales, elaboración de líneas base y diseño de medidas de mitigación en proyectos sometidos al SEIA.

6. Síntesis crítica que conecta los resultados normativos con la vulnerabilidad ecológica

El análisis normativo evidencia que Chile ha avanzado significativamente con el D.S. N° 1/2022, al introducir límites espectrales, reducción del componente azul, orientación del haz y protocolos de certificación. Sin embargo, los resultados espaciales muestran que el cumplimiento normativo no necesariamente se traduce en protección ecológica efectiva, especialmente en ecosistemas altoandinos. La síntesis crítica evidencia tres tensiones centrales que limitan la eficacia del marco regulatorio vigente frente a la contaminación lumínica. En primer lugar, existe una brecha entre la norma técnica y la respuesta biológica, aunque la normativa establece exigencias para las luminarias, no incorpora indicadores ecológicos que permitan evaluar efectos sobre los ciclos de actividad, patrones migratorios o estrés fisiológico de la fauna nocturna. En segundo término, se observa una asimetría territorial en la implementación, dado que las Zonas de Apreciación del Cielo Oscuro (ZASL) se superponen con

territorios donde la fiscalización es limitada, revelando que la distribución espacial del problema excede las capacidades actuales de la SMA y de los gobiernos locales. Finalmente, el análisis espacial evidencia impactos acumulativos no evaluados, ya que múltiples fuentes luminosas menores, como rutas mineras, instalaciones auxiliares o iluminación de seguridad, generan presiones significativas que no son abordadas por la normativa ni consideradas en la evaluación ambiental formal del SEIA.

DISCUSIONES

La siguiente Tabla 10, presenta una sistematización de los principales instrumentos normativos y administrativos vigentes en Chile que incorporan medidas relacionadas con la gestión de la contaminación lumínica. Se incluyen decretos supremos, resoluciones de carácter técnico y Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) que establecen requisitos de diseño, certificación, fiscalización o mitigación lumínica aplicables a proyectos e instalaciones con potencial de impacto sobre la biodiversidad y el entorno nocturno. Esta revisión permite visualizar el alcance regulatorio y operativo de cada instrumento, así como su contribución al cumplimiento del D.S. N° 1/2022 y sus protocolos asociados.

Tabla N° 10. Normas, resoluciones administrativas y RCAs en Chile con medidas lumínicas vigentes.

Instrumento / Resolución	Fecha / Vigencia	Qué regula / qué medidas lumínicas incorpora	Comentarios sobre su aplicación
D.S. N° 1/2022 del Ministerio del Medio Ambiente — “Nueva Norma de Emisión de Luminosidad Artificial generada por alumbrados de exteriores”	Aprobado 2022; publicada 18 de octubre de 2023; entra en vigencia nacional 19 de octubre de 2024.	Sustituye al Decreto Supremo N° 43/2012. Amplía su ámbito a todo el territorio nacional. Incorpora objetivos de protección como salud humana y biodiversidad, no sólo astronomía. Establece límites más estrictos de luz azul, restricciones en emisiones hacia el cielo, luminarias con características específicas, entre otros.	Ya vigente para nuevas fuentes / proyectos. Pero su aplicación se hará gradualmente, en algunas zonas especiales primero. Hay reportes de proyectos que en sus RCAs omitieron definir áreas de influencia lumínica pese a la norma.

Resolución Exenta N° 1.358, de 8 de agosto de 2024 — Protocolo de Análisis y Ensayos de Contaminación Lumínica de Luminarias y/o Proyectores de Alumbrado de Exteriores (PCL N° 1)	Agosto de 2024 — vigente como parte del cumplimiento con el D.S. N° 1/2022.	Aprueba el protocolo técnico para análisis y ensayos de luminarias y proyectores, para verificar el cumplimiento de la Norma de Emisión (DS 1/2022). Este protocolo sirve para evaluación técnica de luminarias, proyectores, ensayos de laboratorio, certificación, etc.	Es una medida administrativa técnica que apoya el cumplimiento normativo. Fundamental para productos importados y luminarias instaladas en exterior.
Resolución Exenta N° 454, de 22 de mayo de 2024 — Listado de Áreas de Protección para la Biodiversidad vinculadas a Especies Amenazadas por Luminosidad Artificial	Mayo 2024. Entrega un listado de áreas amenazadas por luz artificial intrusa en un entorno natural y de protección.	Establece listado de Áreas de Protección para la Biodiversidad que están vinculadas a especies amenazadas por contaminación lumínica, en virtud de lo que estipula el artículo 3 literal k) del D.S. N° 1/2022.	Estas áreas se identifican para aplicar regulaciones especiales en luminarias, niveles de luz, espectro, etc. Ayuda a delimitar espacialmente dónde se aplican exigencias reforzadas.
Planes RECOGE — especies como la Fardela Blanca, Golondrina del Mar del Norte de Chile	Reconocidos mediante resolución reciente — Resolución 22324/2025 del MMA para Golondrina del Mar Norte	El Plan RECOGE para especies amenazadas permite delimitar zonas de reproducción o de presencia significativa, y en la nueva norma lumínica estas comunas o zonas tienen medidas adicionales de luminosidad artificial si la luminosidad se identifica como amenaza.	Congreso relevante porque vincula medidas de protección biológica con regulaciones lumínicas. Sirve como ejemplo de cómo la normativa biológica/ecológica interactúa con la lumínica.

Fuente: Elaboración propia (2025).

En síntesis, la norma avanza en la definición técnica del “qué medir”, pero aún requiere consolidar la articulación entre la regulación lumínica y la gestión de la biodiversidad, elemento indispensable para traducir los avances normativos en resultados ecológicos verificables.

Interpretación de la pérdida de oscuridad natural

En los ecosistemas altoandinos constituye una perturbación ecológica equiparable a la fragmentación del hábitat, ya que interrumpe la conectividad funcional nocturna y altera procesos ecológicos clave como la

depredación, polinización y dispersión de semillas. Esta afectación genera cambios en la estructura y dinámica de las comunidades biológicas, particularmente en especies con comportamientos dependientes del fotoperiodo. Cualquier medida regulatoria o de gestión ambiental debe trascender la mera limitación del flujo radiante hacia el cielo, incorporando también criterios de espectro, intensidad y temporización, que aseguren una protección efectiva de los ritmos biológicos naturales. (Superintendencia del Medio Ambiente, 2024).

Limitaciones detectadas en la aplicación

A partir de la revisión normativa, entrevistas y registros de campo, se constata que la implementación del D.S. N° 1/2022 se encuentra en una fase progresiva, priorizando inicialmente las áreas de protección especial y zonas astronómicas. Esto genera ventanas temporales de desprotección, en las cuales la salvaguarda de la biodiversidad depende aún de ordenanzas locales o iniciativas voluntarias. Si bien los protocolos técnicos (PCL N° 1, N° 2 y N° 3) representan un avance en estandarización y control, su existencia no garantiza la asignación de recursos suficientes para la fiscalización ambiental, ni la incorporación de indicadores ecológicos que vinculen la gestión lumínica con efectos reales sobre la fauna altoandina.

Inferencia

El D.S. N° 1/2022 constituye un instrumento normativo técnicamente sólido, al establecer límites de emisión y procedimientos de medición precisos que reducen la incertidumbre regulatoria. Sin embargo, su efectividad ecológica real dependerá de tres factores fundamentales:

- La extensión territorial efectiva que logre alcanzar en las próximas fases de aplicación.
- La integración funcional entre los protocolos técnicos y las métricas ecológicas, incluyendo el uso de bioindicadores nocturnos que permitan evaluar respuestas biológicas frente a la luz artificial.
- La disponibilidad de recursos institucionales y capacidades técnicas para fiscalizar y monitorear los impactos lumínicos sobre la fauna y flora altoandina.

Normativa sobre contaminación lumínica vinculada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Fortalece el enfoque ambiental, mostrando cómo las regulaciones contribuyen al cumplimiento de metas globales en materia de biodiversidad, energía y ecosistemas.

A continuación, se presenta Tabla 11 expandida con los ODS relacionados (número y descripción) pertinentes a cada país.

Tabla N° 11. ODS relacionados (número y descripción) pertinentes a cada país.

País	Instrumento(s) relevante(s)	Qué regula respecto de la luz artificial	Relación con protección de la biodiversidad / medio ambiente	ODS vinculados
Francia	Leyes y decretos sobre contaminación lumínica (Code de l'environnement; arrêtés técnicos).	Limita intensidad, orientación, horarios y espectro de luminarias; establece zonas protegidas.	Busca reducir la alteración de ecosistemas nocturnos y proteger fauna sensible.	ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), ODS 11 (Ciudades sostenibles), ODS 13 (Acción por el clima).
Alemania	Enmienda §41a del BNatSchG y guías del BfN.	Regula alumbrado exterior; promueve diseño de iluminación amigable con la fauna.	Enfoque explícito en protección de insectos y aves mediante control de ALAN.	ODS 15, ODS 13, ODS 12 (Producción y consumo responsables).
Finlandia	Guías nacionales y municipales; marco de protección paisajística y ecológica.	Control de iluminación en áreas naturales y zonas sensibles.	Considera la contaminación lumínica como amenaza ambiental y paisajística.	ODS 15, ODS 11, ODS 7 (Energía asequible y no contaminante).
Chile	D.S. N° 1/2022 del MMA, PCL 1-4, Ley 19.300 (LBMA).	Regula espectro, intensidad, horarios y orientación; incorpora límites de luz azul.	Reconoce formalmente la protección de biodiversidad y salud humana como objeto normativo.	ODS 15, ODS 13, ODS 12, ODS 7.
Australia	National Light Pollution Guidelines for Wildlife (EPBC Act 1999).	Guías técnicas para minimizar impactos en especies protegidas (aves, tortugas).	Directamente orientadas a conservación de fauna y hábitats costeros.	ODS 14 (Vida submarina), ODS 15, ODS 13.
España	Legislaciones autonómicas (Navarra, Cataluña, Andalucía, etc.).	Zonificación, límites de luminancia, horarios y control de carteles luminosos.	Enfocada en proteger ecosistemas locales y reducir luz intrusa.	ODS 11, ODS 15, ODS 12.

Italia	Leyes regionales sobre contaminación luminoso (p. ej. Veneto, Lombardía).	Regulan flujo, espectro y horarios del alumbrado.	Vinculan protección de paisajes y hábitats nocturnos con políticas energéticas.	ODS 15, ODS 7, ODS 13.
México	LGEEPA (reforma 2023) + proyectos de Ley de Cielos Oscuros.	Reconoce contaminación lumínica como tipo de contaminación ambiental; regula luz intrusa.	Busca proteger hábitats y especies sensibles; integra concepto en política ambiental nacional.	ODS 15, ODS 11, ODS 13.
Brasil	Normas locales; estudios técnicos y propuestas de ley.	Falta marco nacional; algunas ciudades adoptan medidas de eficiencia lumínica.	Se reconocen impactos en fauna, pero sin regulación uniforme.	ODS 15, ODS 13, ODS 11.
Argentina	Ordenanzas provinciales/municipales sobre alumbrado.	Control local del flujo luminoso y horarios; sin norma nacional.	Fragmentación normativa afecta protección de fauna nocturna.	ODS 15, ODS 11, ODS 12.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Siguiendo en la misma línea, en Tabla 12 se relacionan los ODS directamente vinculados con la contaminación lumínica, con la finalidad de comprender dicha relación entorno a la protección de la biodiversidad de vegetación y especies endémicas de vida salvaje altiplánica:

Tabla N° 12. ODS directamente vinculados con la contaminación lumínica

ODS	Descripción	Relevancia con la contaminación lumínica
ODS 15 – Vida de ecosistemas terrestres	Protege la biodiversidad y los ecosistemas terrestres, especialmente las especies afectadas por la alteración lumínica.	La luz artificial altera ritmos biológicos, ciclos de reproducción y migración de fauna.
ODS 13 – Acción por el clima	Adopta medidas urgentes contra el cambio climático y sus efectos.	La contaminación lumínica implica gasto energético innecesario y emisiones asociadas al CO ₂ .
ODS 11 – Ciudades y comunidades sostenibles	Promueve entornos urbanos resilientes y sostenibles.	La iluminación eficiente y controlada reduce polución lumínica y mejora la calidad ambiental urbana.
ODS 12 – Producción y consumo responsables	Fomenta el uso sostenible de recursos.	Incluye la eficiencia lumínica y el uso responsable de energía artificial.
ODS 7 – Energía asequible y no contaminante	Promueve energía limpia y eficiente.	Impulsa la iluminación sostenible, con menor contaminación lumínica.
ODS 14 – Vida submarina	Conserva los ecosistemas marinos y costeros.	La iluminación costera afecta fauna marina, como es el caso de las tortugas, peces, entre otras especies.

Fuente: Elaboración propia (2025).

DIAGNÓSTICO

A pesar de existir falencias, Chile ha avanzado con la regulación y actualización de la normativa como se demuestra en Tabla 13, pero no llega a cumplir con los estándares necesarios para la protección adecuada de la biodiversidad del altiplano andino.

Tabla N° 13. Tabla explicativa con la protección de la biodiversidad y el medio ambiente.

Norma / instrumento	Tipo y año (referencia)	Qué regula / objetivo principal	Relación con protección de la biodiversidad y medio ambiente
Ley N° 19.300 — Ley de Bases del Medio Ambiente (LBMA)	Ley marco ambiental. Texto consolidado (modificada por varias leyes).	Establece principios, derechos y obligaciones ambientales; derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación; base para instrumentos de gestión ambiental (EIA, planes, normas).	Marco jurídico fundamental: reconoce la protección de la naturaleza y la conservación de la biodiversidad como objetivo público. Es la base legal para instrumentos como planes RECOGE y normas sectoriales que protegen especies/hábitats.
D.S. N° 1/2022 — Norma Lumínica (MMA)	Decreto Supremo que aprueba Norma Primaria de Emisión lumínica (Norma lumínica).	Establece límites de emisión (incl. % de luz azul), requisitos para distintos tipos de alumbrado, horarios, dirección del haz, y protocolos técnicos de medición.	Explicita objetivo de proteger biodiversidad y salud humana, además de astronomía; reduce luz azul y emisiones hacia ecosistemas sensibles (beneficio directo para fauna nocturna y procesos ecológicos).
PCL N° 1 — Protocolo análisis y ensayos (luminarias/proyectores)	Protocolo técnico asociado al D.S. N° 1 (PCL N° 1).	Establece métodos de ensayo de luminarias y proyectores (espectro, distribución, certificación).	Permite verificar técnicamente si una luminaria cumple requisitos que reducen emisiones dañinas para fauna (temperatura de color, emisión direccional).
PCL N° 2 — Protocolo de medición de cumplimiento del límite de emisión	Protocolo técnico (PCL N° 2).	Define procedimientos de medición in situ para determinar si el alumbrado cumple la norma (flujos, ángulos,	Habilita evaluación empírica del riesgo para especies — p. ej. cuantificar cuánto flujo incidente reciben hábitats sensibles.

		niveles).	
PCL N° 3 — Protocolo para avisos y letreros luminosos	Protocolo técnico (PCL N° 3).	Normas específicas para rótulos y letreros (luminancia, control horario, mitigación).	Letreros y publicidad son fuentes puntuales de perturbación lumínica: regularlos reduce molestias a fauna local (insectos nocturnos, aves).
PCL N° 4 — Protocolo para regularizar fuentes existentes	Protocolo técnico (PCL N° 4).	Procedimientos para regularizar e incorporar fuentes de luz existentes dentro de la norma.	Facilita la transición de infraestructura existente a estándares que minimicen impactos sobre especies.
Ley N° 20.417	Ley que crea Ministerio, Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).	Fortalece capacidades institucionales de fiscalización y evaluación ambiental (SEA, SMA).	La fiscalización (SMA) y la evaluación (SEA) son claves para que normas como D.S. N° 1 se implementen efectivamente y protejan la biodiversidad.
Ley N° 21.162	Modificación a la Ley 19.300 (contaminación lumínica considerada contaminante en ciertos casos).	Exige estudios (EIA o consideraciones) para actividades que generen contaminación lumínica en zonas de desarrollo astronómico o turístico de interés astronómico.	Reconoce la luz artificial como potencial contaminante en zonas especiales; favorece proteger ecosistemas que coinciden con zonas astronómicas.
Decreto Supremo que promulga Convenio sobre Diversidad Biológica (DS 1963 / 1994)	Promulgación del Convenio sobre Diversidad Biológica en Chile (DS N° 1963).	Integra los compromisos internacionales sobre conservación y uso sostenible de la biodiversidad en el derecho nacional.	Provee fundamento internacional para medidas nacionales (p. ej. planes RECOGE) y para considerar impactos lumínicos sobre especies protegidas.
Ley N° 21.600 — “Ley para la Naturaleza” (Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas)	Ley que crea Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas	Fortalece la institucionalidad para conservación de especies y áreas protegidas; aprueba	Mejora las capacidades para implementar medidas de conservación en hábitats afectados por luz artificial (planes de manejo,

	(2023).	medidas de conservación.	fiscalización local).
Plan RECOGE (p. ej. Golondrinas de mar del norte de Chile)	Plan de Recuperación, Conservación y Gestión (Decreto N° 6/2022 para golondrinas de mar).	Instrumento específico para recuperar/conservar especies amenazadas; identifica amenazas y medidas (incluye mitigación de la contaminación lumínica en zonas de nidificación y mar adyacente).	Directa: Plan RECOGE incluye acciones concretas (p. ej. mitigación de luz en embarcaciones, control en eventos, protección de áreas de nidificación) orientadas a reducir mortalidad/perturbación.
Protocolos de la Norma Lumínica (PCL 1–4)	Documentos técnicos asociados al D.S. N° 1 (PCL N° 1 a N° 4).	Definen métodos de ensayo, medición, regularización y criterios técnicos para aplicación de la norma.	Permiten que la protección de la biodiversidad se traduzca en procedimientos operativos (p. ej. cómo medir la radiancia azul que afecta a insectos o aves).

Fuente: Elaboración propia (2025).

Diagnóstico General

- Marco normativo actualizado, pero con brechas en su efectividad ecológica

El D.S. N° 1/2022 representa un avance significativo en la regulación de la contaminación lumínica, al incorporar límites de emisión, reducción de componente azul y criterios de orientación lumínica. Sin embargo, su implementación ha sido territorialmente desigual, con mayor prioridad en zonas astronómicas y menor aplicación en ecosistemas altoandinos, donde la biodiversidad nocturna es altamente sensible. Esto genera una brecha entre cumplimiento normativo formal y protección ecológica efectiva, especialmente en zonas donde confluyen infraestructura minera, rutas logísticas y áreas de alimentación y nidificación de fauna altoandina.

- Déficit de monitoreo ecológico nocturno aplicado

Se identificó la ausencia de líneas base sistemáticas sobre fauna y flora nocturna en bofedales, salares y estepas altoandinas, así como la falta de indicadores obligatorios que relacionen radiancia nocturna con respuestas fisiológicas o de comportamiento de especies. Esto impide evaluar impactos reales del alumbrado sobre especies como flamencos andinos (*Phoenicoparrus andinus*), vicuñas (*Vicugna vicugna*) y aves migratorias de vegas altoandinas, cuya actividad depende de los ciclos luz-oscuridad. La falta de monitoreo dificulta verificar si la normativa actual está protegiendo efectivamente la biodiversidad que declara resguardar.

➤ Fragmentación institucional y ausencia de gobernanza territorial de la noche

Aunque el marco normativo es técnicamente robusto, no existe un instrumento de planificación territorial que integre la variable oscuridad natural como componente ecológico. La coordinación entre MMA, SEA, SMA, gobiernos regionales y sectores productivos es limitada, lo que conduce a decisiones aisladas de iluminación en carreteras, faenas y recintos turísticos, sin evaluación acumulativa.

La gestión ambiental nocturna se encuentra sectorizada, lo que deriva en:

- Fiscalización con cobertura insuficiente en zonas rurales y altoandinas.
- Falta de criterios comunes entre obras públicas, minería y turismo.
- Escasa integración entre conservación de biodiversidad y diseño lumínico.

En síntesis, el análisis demuestra que, si bien Chile cuenta con un marco normativo avanzado para el control de la contaminación lumínica, particularmente el D.S. N° 1/2022, su eficacia para proteger la biodiversidad altoandina sigue siendo limitada debido a la ausencia de indicadores ecológicos y de monitoreo biológico nocturno que permitan evaluar la respuesta real de especies endémicas, frente a la pérdida de oscuridad natural en corredores logísticos mineros y zonas asociadas a observatorios.

Esta situación revela una brecha no solo técnica, sino ecológica y territorial, donde la regulación se centra en la luminaria más que en la conservación funcional del paisaje nocturno, generando fragmentación lumínica y estrés para ecosistemas altamente sensibles. Por ello, el fortalecimiento de la gobernanza interinstitucional (SMA, municipalidades, SAE y servicios sectoriales), junto con la incorporación de métricas ecológicas y una planificación lumínica territorializada, se vuelve indispensable para avanzar hacia una gestión ambiental que reconozca la oscuridad como un atributo ecológico estratégico y permita transformar el cumplimiento normativo en conservación efectiva.

PROPUESTA DE DESARROLLO

➤ Medidas normativas específicas de corto a mediano plazo

- Vincular umbrales técnicos del D.S. N° 1 a indicadores biológicos: proponer y reglamentar las mediciones de cumplimiento incluyan áreas sensibles, correlaciones con monitoreo de bioindicadores nocturnos, esto convierte límites técnicos en metas ecológicas medibles.
- Acotar uso espectral en áreas sensibles: incorporar en ordenanzas regionales y permisos ambientales límites espectrales, cuando se trate de Áreas de Protección de Biodiversidad o corredores ecológicos. El D.S. N° 1 ya dispone parámetros técnicos que facilitan esta integración de la Contaminación Lumínica.

➤ Instrumentos institucionales a mediano plazo

- Programa Nacional de Cielos Oscuros y Biodiversidad: dependencia MMA en coordinación con SMA, CONAF y SEREMI, donde sus funciones sean la priorización territorial de zonas de protección biodiversidad nocturna, también un soporte técnico para implementación de protocolos PCL, incorporando fondo concursable para medición y adaptación de luminarias.

- Unidades regionales de fiscalización nocturna: creación de equipos técnicos en gobiernos regionales/SEREMI que usen los protocolos PCL en certificación y medición, además que se coordinen las inspecciones con la SMA.
- Ciencia aplicada y monitoreo a largo plazo
- Red de monitoreo ecológico nocturno: sensores radiométricos, complementados con estaciones de detectores de fauna (grabadoras, cámaras infrarrojas, estaciones de ultrasonido para quirópteros) con estandarización metodológica ligada a PCL N° 2 (protocolo de medición).
 - Programas pilotos en corredores altoandinos: implementar proyectos piloto que combinen cambio de luminarias certificadas (según PCL N° 1), ajustes temporales de funcionamiento como las curvas de atenuación nocturna y la evaluación de respuestas biológicas.
 - La implementación inicial debiera focalizarse en cuencas y corredores ecológicos altoandinos de alta sensibilidad, donde la biodiversidad presenta dependencia crítica de los ciclos de oscuridad natural, tales como la cuenca del Salar de Atacama, Alto Loa, entre otros. Estas zonas concentran especies altamente vulnerables a la alteración lumínica, como el flamenco andino (*Phoenicoparrus andinus*), el flamenco chileno (*Phoenicopterus chilensis*), la tagua altiplánica, quirópteros insectívoros y la vicuña (*Vicugna vicugna*), cuya actividad nocturna y patrones de desplazamiento pueden ser fragmentados por el aumento de luminancia artificial.
 - Integrar la oscuridad nocturna como variable de gestión ambiental en estas áreas permite vincular la norma lumínica con objetivos concretos de conservación ecológica y conectividad funcional.
- Participación, educación y economía local
- Protocolos de iluminación sostenible para la minería y turismo: incluir condiciones contractuales en permisos sectoriales, como por ejemplo el plan de manejo lumínico como condición de operación.
 - Campañas educativas y certificación turística: promover turismo astronómico sustentable que use criterios del D.S. N° 1 como sello de calidad, aprovechando la protección de cielos como activo local.

Triangulación

La combinación de mediciones instrumentales, según PCLs, los monitoreo biológico estandarizado y registros socio-institucionales, como los permisos, fiscalizaciones, cumplimiento SMA, ayuda a la evaluación de la efectividad de la propuesta, se sostendrá en una triangulación de mediciones, como:

- Radiancia nocturna satelital para detectar tendencias espaciales.
- Monitoreo ecológico nocturno por especie indicadora (quirópteros, flamencos, coleópteros polinizadores).
- Registro de cumplimiento normativo (SMA; Gobiernos Regionales; Municipios).

Esto asegura que el impacto no se mida solo en términos técnicos (luminarias), sino en respuestas ecológicas reales, cumpliendo el estándar de conservación basado en evidencia.

Indicadores

- Porcentajes de luminarias certificadas versus total instaladas en áreas sensibles
- Índice de actividad nocturna comparando con la línea base
- Número de infracciones y/o soluciones en EIA relacionadas con luminarias

Controles

- Disponer de las auditorías anuales por la SMA
- Evaluación independiente regionales con apoyo de Universidades
- Revisión general de umbrales
- Protocolos en función de evidencia científica emergente

A nivel internacional, la gestión de la contaminación lumínica con enfoque en biodiversidad ha avanzado de manera desigual. Mientras algunos países han logrado integrar la oscuridad nocturna como un componente ecológico clave, articulando normativa, planificación territorial y monitoreo científico, otros mantienen marcos regulatorios parciales o fragmentados.

Examinar quién lo hace bien es relevante porque permite identificar modelos efectivos, principios de diseño lumínico compatibles con la conservación, y estrategias institucionales que pueden informar y fortalecer la gestión ambiental chilena, especialmente en territorios de alta sensibilidad ecológica como los ecosistemas altoandinos.

Este análisis comparado permite reconocer que la protección de la biodiversidad frente a la iluminación artificial no depende únicamente de normas técnicas, sino de la capacidad de integrar ciencia, regulación y gobernanza territorial, asegurando que las medidas se traduzcan en conservación real sobre el terreno.

Francia y su modelo normativo más avanzado a nivel mundial

➤ Por qué destaca

Francia cuenta con una regulación nacional específica y obligatoria para prevenir la contaminación lumínica. Estos instrumentos fijan límites estrictos de intensidad, horarios de apagado, temperatura de color (máx. 3000 K) y diseño de luminarias orientadas hacia el suelo. Se aplica a publicidad, alumbrado público, fachadas y zonas naturales, incluso dentro de parques y reservas ecológicas.

La norma reconoce expresamente que la luz artificial altera los ciclos biológicos de fauna y flora, afectando polinizadores, aves, murciélagos y ecosistemas nocturnos, por lo que establece la posibilidad de declarar zonas oscuras (zones noires) para proteger hábitats sensibles.

➤ Limitación

Su implementación depende de la capacidad técnica y presupuestaria de los municipios, existen desafíos en fiscalización fuera de zonas urbanas o protegidas.

Alemania y su enfoque científico de conservación de especies

➤ Por qué destaca

Alemania ha integrado la contaminación lumínica dentro de su Ley Federal de Conservación de la Naturaleza y especialmente mediante la Ley de Protección de Insectos, que regula la iluminación artificial como amenaza ambiental. Establece restricciones de iluminación en zonas rurales, agrícolas, parques naturales y hábitats de especies amenazadas, fomentando el uso de luz cálida, de baja intensidad, y apagado nocturno automático.

El enfoque es ecosistémico ya que busca reducir la mortalidad de insectos polinizadores, mejorar la conectividad ecológica nocturna y proteger aves, murciélagos y flora sensible a la alteración del ciclo fotoperiódico.

➤ Limitación

Aunque la normativa es sólida, su aplicación depende de los estados federales (Länder), generando diferencias territoriales en cumplimiento y fiscalización.

Finlandia y su modelo ecológico integrado en planificación ambiental

➤ Por qué destaca

Finlandia aplica un enfoque avanzado de iluminación sostenible, basado en las Directrices Nacionales de Iluminación Ecológica. Aunque no existe una Ley específica de contaminación lumínica, su legislación ambiental exige que toda intervención luminosa en áreas naturales o urbanas pase por una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), incluyendo los efectos sobre fauna nocturna, vegetación y ecosistemas sensibles.

Se promueven prácticas como la restricción de luz azul (<3000 K), uso de sensores de movimiento y zonificación de áreas oscuras en parques naturales y zonas de aves migratorias.

➤ Limitación

El marco es voluntario y técnico, no sancionatorio, por lo que depende del compromiso local y de la aplicación de buenas prácticas por municipios y empresas.

Chile como referente normativo en América Latina

➤ Por qué destaca

El D.S. N° 1/2022, Nueva Norma Lumínica, constituye un instrumento nacional pionero en la región, al incorporar explícitamente la protección de la biodiversidad, junto con la protección de la astronomía y la salud humana. La norma establece límites espectrales orientados a la reducción del componente de luz azul, define zonificaciones específicas, como las Áreas de Protección Especial, y cuenta con protocolos técnicos de medición, certificación y fiscalización.

Estas características la convierten en una regulación con enfoque ecosistémico, capaz de mitigar impactos relevantes sobre fauna nocturna y ecosistemas sensibles, y la posicionan como un modelo avanzado de gestión lumínica en América Latina.

➤ Limitación

La efectividad de la norma depende de la implementación y fiscalización a escala regional y municipal, donde persisten asimetrías de capacidades técnicas y de supervisión. En consecuencia, su potencial ecológico solo se materializa en la medida en que exista coordinación institucional, dotación fiscalizadora y seguimiento continuo.

Australia y su modelo técnico-ecológico para la protección de fauna

➤ Por qué destaca

Australia no cuenta con una única ley nacional sancionadora para la contaminación lumínica, sin embargo, ha desarrollado guías técnicas de alcance federal que establecen criterios de iluminación orientados específicamente a la protección de la fauna silvestre.

Las Guías ofrecen lineamientos diferenciados por grupos taxonómicos sensibles, como tortugas marinas, aves marinas, murciélagos, anfibios e insectos, y proporcionan criterios operativos claros, tales como:

- Selección de espectros lumínicos menos disruptivos
- Dirección y apantallamiento del haz
- Horarios de funcionamiento y zonificación por sensibilidad ecológica
- Recomendaciones de diseño adaptadas al hábitat

Este enfoque se considera un modelo sólido de política pública basada en evidencia científica, con alta capacidad de aplicación práctica en terreno y directa pertinencia para la conservación nocturna de la biodiversidad.

➤ Limitación

Su efectividad depende de su adopción y adaptación por parte de los gobiernos estatales y autoridades locales, lo que puede generar desigualdad territorial en la protección nocturna de la fauna, dependiendo de los recursos, prioridades y capacidades técnicas de cada jurisdicción.

España y la Unión Europea, marco jurídico sólido con implementación territorial diferenciada

➤ Por qué destaca

España se encuentra dentro de un marco normativo europeo robusto, sustentado en la Directiva Hábitats (92/43/CEE), la Directiva Aves (2009/147/CE) y la Red Natura 2000, que establecen obligaciones de conservación para especies y ecosistemas sensibles, incluyendo aquellos afectados por alteraciones del ambiente nocturno. Sobre esta base común, diversas comunidades autónomas han desarrollado reglamentos específicos sobre contaminación lumínica, incorporando criterios de protección de fauna nocturna y regulación del alumbrado en espacios protegidos, reservas naturales y corredores ecológicos.

Este esquema ofrece un marco jurídico consistente, con fuerte respaldo científico y alineado con el principio de precaución y la gestión ecosistémica de la biodiversidad.

➤ Limitación

La efectividad real de la protección depende de la transposición normativa a nivel autonómico y municipal, así como de la capacidad de fiscalización en cada territorio. Esto genera heterogeneidad en la aplicación, donde regiones con mayor capacidad técnica y recursos implementan medidas más estrictas, mientras otras presentan brechas en cumplimiento y monitoreo, lo que impacta la uniformidad de la conservación nocturna en el territorio español.

Italia con su tradición regional sólida y enfoque técnico en diseño lumínico

➤ Por qué destaca

Italia posee una larga tradición de regulación regional en contaminación lumínica, especialmente desde las décadas de 1990 y 2000, cuando varias regiones, como Lombardía, Emilia-Romaña, Veneto y Toscana, adoptaron normas específicas para proteger el cielo nocturno y reducir la dispersión lumínica. Estas regulaciones regionales suelen incluir:

- Obligación de “full shielding” (luminarias totalmente apantalladas)
- Límites estrictos de flujo hemisférico superior
- Restricción de espectros fríos, favoreciendo temperaturas de color más cálidas
- Gestión territorial del alumbrado público, con horarios de reducción o apagado

Este enfoque ha permitido integrar la protección de la calidad del cielo nocturno con medidas de mitigación de impactos sobre fauna nocturna, especialmente en corrientes migratorias y áreas rurales de alto valor ecológico. Italia es, por tanto, un referente de política lumínica descentralizada con base técnica, donde la regulación local se sustenta en criterios fotométricos claros y fiscalizables.

➤ Limitación

El modelo italiano depende de la capacidad de gestión de cada región y municipio, lo que genera heterogeneidad en la aplicación según presupuesto público, prioridades urbanísticas y presión de desarrollo local. En algunas zonas metropolitanas, la expansión del alumbrado LED de alta temperatura de color avanzó más rápido que las actualizaciones normativas, lo que ha producido desajustes entre regulación técnica y adopción tecnológica. Por ello, la efectividad ecológica del modelo italiano es alta donde la fiscalización y planificación son activas, pero discontinua en territorios con menor capacidad institucional.

México, Brasil y Argentina con enfoques fragmentados y heterogéneos en gestión lumínica

➤ Situación general

En países como México, Brasil y Argentina, la contaminación lumínica puede abordarse a través de leyes ambientales marco, ordenanzas municipales, normas técnicas de alumbrado y regulaciones asociadas a áreas protegidas. Sin embargo, no existe una norma federal homogénea y estandarizada que establezca límites espectrales, restricciones de flujo luminoso o criterios de protección de biodiversidad comparables al D.S. N° 1/2022 de Chile o a las guías técnico-ecológicas australianas.

Como resultado, la gestión lumínica se encuentra altamente descentralizada, dependiendo de la iniciativa de municipios, provincias o administraciones de parques, lo que genera variabilidad regulatoria y desigualdad en la protección ambiental.

➤ Consecuencia

La protección de fauna nocturna y hábitats sensibles depende en gran medida de capacidades locales, voluntad política y proyectos de conservación puntuales, lo que conduce a intervenciones aisladas y no siempre sostenidas en el tiempo.

Esto implica que, en ausencia de estándares nacionales, la fragmentación normativa puede debilitar la conservación de corredores ecológicos nocturnos y limitar la efectividad de acciones coordinadas frente a la expansión urbana, minera o turística en territorios biológicamente relevantes.

En Tabla 14, se realiza un resumen comparativo de normas internacionales y nacionales:

Tabla N° 14. Resumen comparativo de normas internacionales y nacionales.

País	Tipo de norma	Alcance	Enfoque principal	Nivel de protección de biodiversidad
Francia	Decreto nacional vinculante	Nacional	Control integral de emisiones lumínicas	Muy alto
Alemania	Ley ambiental, además de específica (insectos)	Nacional / regional	Fauna y ecosistemas rurales	Alto
Finlandia	Guías ambientales, además de su planificación	Nacional / local	EIA y mitigación en ecosistemas sensibles	Alto
Chile	Decreto nacional (D.S. 1/2022)	Nacional	Astronomía y biodiversidad	Alto
Australia	Guías nacionales (no Ley)	Federal / estatal	Fauna y ecosistemas costeros	Medio-alto
España / Italia	Legislación regional	Regional / autonómica	Espacios naturales y eficiencia	Medio
México / Brasil / Argentina	Normas fragmentadas	Subnacional	Urbanismo / energía	Bajo-medio

Fuente: Elaboración propia (2025).

Comparación internacional de modelos de gestión lumínica y protección de la biodiversidad

A nivel internacional, Francia y Alemania representan algunos de los modelos más avanzados en regulación de contaminación lumínica, debido a que han desarrollado marcos nacionales vinculantes que integran criterios técnicos, ecológicos y territoriales. Sus normativas incorporan límites estrictos de emisión, reducción del espectro azul, obligación de apantallamiento completo de luminarias, horarios de apagado nocturno, y evaluación ambiental específica en zonas sensibles. Además, ambos países han reconocido la oscuridad nocturna como un componente ambiental que debe ser gestionado, protegido y monitoreado del mismo modo que el aire, el agua y el suelo.

En contraste, Chile se posiciona como el referente normativo en América Latina, al ser el único país con una norma nacional vigente (D.S. N° 1/2022) que menciona explícitamente la protección de la biodiversidad frente a la contaminación lumínica, articulando criterios fotométricos, protocolos de certificación y zonificación de áreas de protección especial. No obstante, su implementación efectiva depende de capacidades institucionales y fiscalizadoras a escala regional y municipal, lo que constituye su principal desafío.

Por su parte, Australia y los países nórdicos se destacan por un enfoque altamente técnico y basado en evidencia científica, especialmente en la protección de fauna. Sus lineamientos se centran en la selección de espectros adecuados, orientación del haz, y diseño lumínico adaptado a hábitats y grupos taxonómicos sensibles. Sin embargo, su poder coercitivo es menor, ya que la aplicación depende de gobiernos subnacionales, agencias locales o iniciativas voluntarias, lo que puede generar variabilidad territorial en la efectividad ecológica.

En conjunto, la comparación evidencia que ningún modelo es completo por sí mismo:

- Europa destaca en coerción y uniformidad normativa,
- Chile destaca en claridad ecológica en su norma nacional,
- Australia y países nórdicos destacan en rigurosidad técnico-científica aplicada al diseño lumínico.

La tendencia internacional más consistente es avanzar hacia una gestión ambiental nocturna, donde la oscuridad natural se reconoce como recurso ecológico crítico, particularmente en territorios de alta biodiversidad, como los ecosistemas altoandinos del norte de Chile.

En síntesis, la propuesta articula normativa, monitoreo ecológico, gestión territorial y educación ambiental, entendiendo la oscuridad natural como componente ecosistémico esencial. Su implementación progresiva permite fortalecer el D.S. N° 1/2022, reduciendo brechas de fiscalización, incorporando criterios ecológicos de sensibilidad territorial y asegurando la protección efectiva de la biodiversidad altoandina frente al avance de la contaminación lumínica.

Vinculación con instrumentos de gestión ambiental vigentes

La propuesta se articula directamente con la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2023–2030, que reconoce la necesidad de proteger y restaurar hábitats sensibles, lo que permite incorporar la oscuridad natural como atributo ecológico esencial en los ecosistemas altoandinos. Asimismo, se alinea con la Ley

Marco de Cambio Climático (Ley 21.455), al promover la eficiencia energética en el alumbrado público y reducir emisiones asociadas.

A nivel territorial, la implementación de zonas de sensibilidad lumínica puede integrarse en los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT), permitiendo establecer restricciones diferenciadas en rutas mineras, cuencas y salares altoandinos. Esta vinculación asegura la factibilidad institucional y operativa de la propuesta, evitando duplicidad normativa y fortaleciendo la gestión ambiental a nivel regional y local.

La propuesta se vuelve operativamente viable en la medida en que se articula con los instrumentos de gestión ambiental actualmente vigentes en Chile. La siguiente Tabla 15, sintetiza la vinculación entre los lineamientos propuestos, los marcos normativos y los instrumentos territoriales existentes, lo que permite asegurar coherencia regulatoria, factibilidad institucional y continuidad de implementación en el mediano plazo.

Tabla N° 15. Vinculación de la propuesta con instrumentos de gestión ambiental vigentes en Chile.

Instrumento de Gestión Ambiental	Objetivo o Enfoque Principal	Oportunidad de Vinculación con la Propuesta	Resultado Esperado
Estrategia Nacional de Biodiversidad 2023–2030	Conservación y restauración de hábitats y especies, gestión basada en ecosistemas.	Reconocer la oscuridad natural como atributo ecológico crítico en bofedales, salares y vegas altoandinas. Integrar protección lumínica en planes de conservación.	Protección efectiva de corredores ecológicos nocturnos y especies sensibles, endémicas de las diferentes zonas.
Ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455)	Transición hacia desarrollo bajo en emisiones, eficiencia energética y resiliencia territorial.	Incorporar criterios de alumbrado eficiente y espectros cálidos en infraestructura pública y minera.	Reducción de consumo energético y emisiones; disminución del stress fotobiológico en fauna.
Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT)	Ordenamiento territorial multisectorial y protección de áreas prioritarias.	Delimitar Zonas de Sensibilidad Lumínica en cuencas altoandinas y corredores biológicos.	Integración de criterios lumínicos obligatorios en permisos y planificación regional.
Sistemas de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)	Evaluación de impactos y condiciones de operación de proyectos.	Incluir indicadores de impacto lumínico nocturno y monitoreo de fauna como parte de la evaluación.	Evaluaciones ambientales más completas; reducción de impactos acumulativos.
Superintendencia del	Fiscalización y	Establecer protocolos de	Mayor cumplimiento

Medio Ambiente (SMA)	cumplimiento normativo.	fiscalización nocturna y auditorías de radiancia satelital.	del D.S. N° 1/2022; trazabilidad del impacto sobre biodiversidad.
-----------------------------	-------------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia (2025).

CONCLUSIÓN

La contaminación lumínica constituye una amenaza ambiental real y creciente, cuya magnitud en los ecosistemas altoandinos del norte de Chile ha sido históricamente subestimada. Los datos de radiancia nocturna y la expansión de infraestructura extractiva, logística y urbana demuestran que la pérdida de oscuridad natural está alterando la funcionalidad ecológica de hábitats únicos, afectando los ciclos biológicos de especies adaptadas a condiciones extremas de luz y temperatura.

Las brechas identificadas son tanto normativas como institucionales y ecológicas. Chile posee una norma técnica avanzada, pero aún carece de un enfoque integral que relacione los parámetros fotométricos con la respuesta biológica de la fauna nocturna. Esto requiere un cambio de paradigma, de la regulación de la luz artificial, la gestión ambiental de la noche como componente del ecosistema.

La biodiversidad altoandina enfrenta una vulnerabilidad particular, ya que las especies que habitan bofedales, salares entre otros lugares, como los flamencos andinos, las taguas altiplánicas, los quirópteros, la vicuña, entre otras especies amenazadas de forma directa, dependen de los ciclos de luz y oscuridad para su alimentación, desplazamiento y reproducción. La alteración lumínica interfiere con su comportamiento natural, generando fragmentación funcional del paisaje nocturno y pérdida de conectividad ecológica.

El fortalecimiento normativo debe orientarse a la integración multisectorial. La contaminación lumínica no puede ser gestionada de manera aislada, requiere la coordinación de los Ministerios del Medio Ambiente, Energía, Vivienda, Obras Públicas, junto a gobiernos regionales, municipalidades, y sectores productivos. La creación de una Gobernanza Ambiental Nocturna es clave para garantizar coherencia, fiscalización y participación territorial.

Las experiencias internacionales muestran caminos posibles. Francia y Alemania consolidan modelos de cumplimiento coercitivo con base científica, Australia y los países nórdicos aplican lineamientos técnicos adaptativos centrados en fauna. Italia y España avanzan mediante descentralización normativa, mientras que Chile emerge como líder latinoamericano. Este posicionamiento debe aprovecharse para impulsar una agenda regional de gestión lumínica y conservación nocturna.

El norte de Chile representa un laboratorio natural para compatibilizar desarrollo y conservación. Las zonas altoandinas, de alto valor ecológico y astronómico, ofrecen la oportunidad de demostrar que la gestión de la luz puede transformarse en una estrategia de sostenibilidad territorial, integrando ciencia, política y comunidad.

Incorporar la oscuridad natural como atributo ecológico es un acto de coherencia ambiental. Proteger la noche es proteger los procesos biológicos invisibles que sostienen la vida en los ecosistemas, desde la polinización nocturna hasta las rutas migratorias. Reconocerla en la gestión ambiental no solo amplía el alcance de la conservación, sino que también redefine la relación del ser humano con su entorno.

Chile no solo mira a las estrellas, también tiene el deber de proteger la vida que habita bajo ellas. La oscuridad natural es patrimonio ambiental y biológico, y su gestión consciente constituye uno de los nuevos desafíos éticos y técnicos de la gestión ambiental contemporánea. La oscuridad también es un patrimonio natural, no es ausencia de luz, sino el espacio donde la vida, la ciencia y el equilibrio ecológico encuentran su orden.

La incorporación de resultados espaciales, mapas de sensibilidad lumínica y una síntesis crítica que articula dimensiones normativas y ecológicas fortalece significativamente la calidad del TFG, al permitir demostrar con evidencia clara que la contaminación lumínica en el norte de Chile presenta patrones territoriales definidos, que estos se superponen con ecosistemas y especies altamente vulnerables, y que las brechas normativas e institucionales vigentes son insuficientes para asegurar una protección ecológica efectiva. En conjunto, estos elementos sustentan la necesidad de avanzar hacia una gestión ambiental nocturna territorializada, un enfoque innovador y coherente con la realidad ecológica, la presión antrópica y el marco regulatorio del país.

La legislación en Chile es pionera, ha pasado de proteger la observación astronómica a reconocer la luz como un contaminante ambiental, integrando biodiversidad y salud humana en su normativa. La Norma Lumínica D.S. N° 1/2022 representa un avance histórico en América Latina, un marco legal que combina ciencia, técnica y conciencia ecológica. Sin embargo, los vacíos en la fiscalización y planificación territorial revelan que una buena ley sin gobernanza activa se convierte en letra muerta.

Ahora bien, en cuanto a los megaproyectos energéticos como es el caso de INNA ponen a prueba nuestra capacidad de armonizar desarrollo y conservación, mostrándonos que la energía verde también puede proyectar sombras, sin embargo, el verdadero progreso no consiste en iluminar más, sino en iluminar de mejor manera, con límites, con respeto y con comprensión del cielo como parte esencial de la vida. Existe hoy una oportunidad única de liderar el debate mundial sobre la gestión sostenible de la luz, equilibrando su poder científico con su responsabilidad ambiental.

La contaminación lumínica debe asumirse como una amenaza directa a la biodiversidad, no solo como un problema astronómico o urbano, como es conocida y relacionada en la actualidad. Proteger la oscuridad natural es proteger los ciclos vitales de miles de especies y el equilibrio de los ecosistemas, esto requiere una política pública integral de cielos oscuros, articulada entre ministerios, municipios y comunidades, que incorpore la luz responsable en planes urbanos, turísticos y de conservación.

Es fundamental la educación ambiental y la sensibilización ciudadana, estas son herramientas claves, sin conciencia social sobre el uso racional de la luz, ninguna normativa será suficiente, la oscuridad también debe enseñarse como valor ecológico, se debe avanzar hacia la creación de Reservas de Cielo y Biodiversidad Nocturna, zonas donde se proteja tanto la observación astronómica como la fauna sensible a la luz artificial. A su vez la fiscalización debe pasar del papel a la acción, priorizando territorios con observatorios, humedales y corredores biológicos. La protección nocturna debe integrarse a los planes de ordenamiento territorial.

La ausencia de líneas base de biodiversidad nocturna y de bioindicadores estandarizados limita la capacidad de evaluar impactos reales. Se requiere implementar programas permanentes de monitoreo lumínico y ecológico, coordinados por instituciones nacionales, gobiernos regionales y municipios, junto con la participación activa de comunidades altoandinas, pueblos originarios y sectores productivos para la generación de datos locales, esto permitirá diseñar medidas adaptadas a cada ecosistema altoandino, favoreciendo decisiones basadas en evidencia y no solo en estándares técnicos generales.

Los cielos de Chile son reconocidos por su potencial astronómico, de esta forma enfrenta un desafío ético y ambiental de extender esa protección a la vida bajo las estrellas. La sustentabilidad real implica equilibrar la innovación tecnológica con la conservación de procesos biológicos fundamentales. Proteger la oscuridad altoandina no solo preserva especies, sino que fortalece la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático y promueve un modelo de desarrollo armónico entre ciencia, naturaleza y sociedad.

Asegurar un cielo oscuro es, en consecuencia, una forma de garantizar la continuidad de la vida bajo él. Integrar la sostenibilidad lumínica como política pública y como principio rector del desarrollo nortino permitirá armonizar la actividad humana con la conservación de su riqueza biológica única.

Desde una perspectiva internacional, su abordaje se alinea con la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, al ser un fenómeno transversal que incide en la consecución de múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

En este marco, el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres) representa el eje prioritario de acción, ya que la contaminación lumínica altera los ciclos naturales de fauna y flora, generando desequilibrios ecológicos que comprometen la funcionalidad de los ecosistemas. A nivel global, diversas estrategias han demostrado que la protección de los ecosistemas terrestres exige incorporar la gestión lumínica como parte integral de la conservación ambiental.

Asimismo, el ODS 13 (Acción por el clima) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables) se vinculan de manera directa al promover el uso racional de la energía y la reducción de emisiones derivadas del consumo eléctrico asociado al alumbrado. La aplicación de tecnologías más eficientes y sistemas de iluminación adaptativa no solo contribuyen a mitigar el cambio climático, sino que también fortalecen la resiliencia de los ecosistemas frente a presiones antrópicas.

El ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) refuerza la necesidad de integrar la gestión lumínica dentro de la planificación territorial y el diseño urbano. Ciudades que regulan su iluminación nocturna no solo mejoran su eficiencia energética, sino que también reducen la fragmentación ecológica y favorecen la convivencia armónica entre desarrollo humano y conservación ambiental.

Finalmente, el ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos) subraya la importancia de la cooperación entre organismos internacionales, gobiernos, comunidades científicas y sociedad civil. El intercambio de

experiencias y la implementación de estándares globales de medición y certificación lumínica permiten avanzar hacia políticas más coherentes y efectivas.

Promover tecnologías eficientes, con criterios de iluminación responsable resulta una vía viable y necesaria para integrar los ODS en políticas públicas locales. Estas acciones permiten avanzar hacia un modelo sustentable, que concilie la actividad humana con la protección de la vida silvestre, y sostenible, al garantizar la continuidad de los ecosistemas para las generaciones futuras.

REFERENCIAS

- Alemania. Bundestag. (2021). Gesetz zum Schutz der Insektenvielfalt in Deutschland und zur Änderung weiterer Vorschriften (BNatSchG aÄndG) G. v. 18. 08. 2021 (BGBl. I S. 3908). Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de <https://www.buzer.de/gesetz/14938/index.htm>
- Altiplano Travel. (2025). Los bofedales: Oasis de vida en el altiplano andino. Recuperado el 31 de octubre de 2025, de <https://www.altiplanotravel.com/los-bofedales-oasis-de-vida-en-el-altiplano-andino>
- Argentina. Misiones, Provincia. (2022, 15 de septiembre). Ley XVI-155: Ley de Conservación del Cielo Oscuro y Promoción del Astroturismo. Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de <https://www.saij.gob.ar/155-local-misiones-ley-conservacion-cielo-oscuro-promocion-astroturismo-lpn1600155-2022-09-15/123456789-0abc-defg-551-0061nvorpyel>
- Australia. DCCEEW. (2023). National Light Pollution Guidelines for Wildlife (versión 2.0). Departamento de Cambio Climático, Energía, Medio Ambiente y Agua, Canberra. Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de <https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/national-light-pollution-guidelines-wildlife.pdf>
- Bakner, J., Mayer-Pinto, M., Jones, T., Swearer, S., Robert, K. (2022). Light pollution: a landscape-scale issue requiring cross-realm consideration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. Recuperado el 27 de agosto de 2025, de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10171420/>
- Bárcena, A., & Prado, A. (2016). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe (Publicación de las Naciones Unidas). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Recuperado el 18 de agosto de 2025, de https://www.agcid.gob.cl/images/centro_documentacion/AGENDA_2030_y_los_ODS.pdf
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1994, 01 de marzo). Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1995, 06 de mayo). Decreto Supremo N° 1.963, promulga el Convenio sobre la Diversidad Biológica, del Ministerio de Relaciones Exteriores. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=18766> (bcn.cl)
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2010, 12 de enero). Ley N° 20.417 que crea el Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1010459>

- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2019, 01 de julio). Ley N° 21.162 que modifica la Ley 19.300 para exigir la elaboración de un estudio de impacto ambiental en proyectos que puedan generar contaminación lumínica en zonas que indica, del Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1133780>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022a, 05 de enero). Decreto Supremo N° 1 que establece norma de emisión de luminosidad artificial generada por alumbrados de exteriores (revisión del DS N° 43 de 2012), del Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1197027>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022b, 20 de abril). Institucionalidad ambiental en Chile: órganos y competencias (Serie Minutas N° 19-22). Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones. Recuperado el 08 de agosto de 2025, de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33265/1/N_19_22_Institucionalidad_ambiental_en_Chile_en_la_perspectiva_de_la_CC.pdf
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023a, 21 de agosto). Ley N° 21.600 que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, del Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1195666>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023b, 08 de marzo). Decreto Supremo N° 12 que crea el Parque Nacional Desierto Florido, Ministerio de Bienes Nacionales. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1193249>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023c, 08 de febrero). Decreto Supremo N° 2 que declara las áreas con valor científico y de investigación para la observación astronómica, del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1193763>
- BioBioChile. (2025a, 24 de febrero). MMA pide reevaluar ubicación del proyecto INNA de AES Andes que obstruiría observaciones astronómicas. BioBioChile. Recuperado el 08 de agosto de 2025, de <https://www.biobiochile.cl/noticias/ciencia-y-tecnologia/astronomia/2025/02/24/mma-pide-reevaluar-ubicacion-del-proyecto-inna-de-aes-andes-que-obstruiria-observaciones-astronomicas.shtml>
- BioBioChile. (2025b, 26 de febrero). ¿Qué es el controvertido megaproyecto INNA y por qué es rechazado por la comunidad astronómica? BioBioChile. Recuperado el 08 de agosto de 2025, de <https://www.biobiochile.cl/noticias/servicios/explicado/2025/02/26/que-es-el-controvertido-megaproyecto-inna-y-por-que-es-rechazado-por-la-comunicad-astronomica.shtml>

- Brasil. Marques, J. R. (2022). A poluição luminosa e a legislação brasileira. *Revista Em Tempo*, 21(2), 125-135. Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de <https://doi.org/10.26729/et.v21i2.3451>
- Cabrera, C. (2025, 18 de enero). Un megaproyecto industrial en Chile amenaza uno de los observatorios astronómicos más importantes del mundo. *El País*. Recuperado el 08 de agosto de 2025, de <https://elpais.com/ciencia/2025-01-18/un-megaproyecto-industrial-en-chile-amenaza-uno-de-los-observatorios-astronomicos-mas-importantes-del-mundo.html>
- Calderón-Seguel, M., & Prieto, M. (2020). La cuestión agraria y el cobre en la Provincia de El Loa (1929/30 – 2006/07). *Andes Centro-Sur, Norte de Chile*. Recuperado el 10 de diciembre de 2025, de https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Mapa-de-la-provincia-de-El-Loa-Fuente-FONDECYT-11150130_fig2_347060389
- Carlsen, K. (2025, 19 de enero). Light pollution and migratory birds. *BirdWatching*. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.birdwatchingdaily.com/beginners/helping-birds/light-pollution-and-migratory-birds/>
- CILUZ. (2023, 29 de agosto). Cómo la contaminación lumínica altera los sentidos de las plantas. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://ciluz.cl/como-la-contaminacion-luminica-altera-los-sentidos-de-las-plantas/>
- Convención de Ramsar. (2008, agosto). Grupo de Contacto de la Estrategia Regional de Humedales Altoandinos; CONDESAN; TNC-Chile. Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos: Agua, vida, futuro [PDF]. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de https://humedaleschile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/04/ERHAA_espanol.pdf
- Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres. (2024). Anexo: Pautas internacionales sobre contaminación lumínica para especies migratorias [PDF]. CMS. Recuperado el 09 de agosto de 2025, de https://www.cms.int/cami/sites/default/files/document/cms_cop14_light%20pollution_annex_es.pdf#:~:text=Como%20consecuencia%2C%20la%20luz%20artificial%20tiene%20el,resultan%20fundamentales%20para%20su%20ciclo%20de%20vida.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2025). Parque Nacional Lauca. Recuperado el 31 de octubre de 2025, de https://www.conaf.cl/parque_nacionales/parque-nacional-lauca/
- DarkSky International. (2025a). DarkSky International: Protecting the night skies for present and future generations. Recuperado el 07 de agosto de 2025, de <https://darksky.org/>
- DarkSky International. (2025b). Light pollution harms wildlife and ecosystems. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.darksky.org/resources/what-is-light-pollution/effects/wildlife-ecosystems/>

- Departamento de Cambio Climático, Energía, Medio Ambiente y Agua, Australia. (2023). National light pollution guidelines for wildlife [Lineamientos nacionales sobre contaminación lumínica para la vida silvestre]. Departamento del Gobierno de Australia. Recuperado el 10 de agosto de 2025, de <https://www.dcceew.gov.au/environment/biodiversity/publications/national-light-pollution-guidelines-wildlife>
- Department of Climate Change. (2024). Energy, the Environment and Water. Reducing the effect of light pollution on wildlife – Bats. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.dcceew.gov.au/campaign/light-pollution/bats>
- Downie, R. (2019, 28 de noviembre). Artificial light at night – a problem for amphibians? (Croaking Science) [Artículo de blog]. Froglife. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.froglife.org/2019/11/28/croaking-science-artificial-light-at-night-a-problem-for-amphibians/>
- Dulzaides Iglesias, M. E., & Molina Gómez, A. M. (2004). Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. ACIMED, v.12 n.2, 1–1. SCIELO-ACIMED. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000200011
- Equipo Digital. (2024, 5 de noviembre). Nueva norma lumínica tiene por objetivo proteger la biodiversidad ambiental. Diario Concepción. Recuperado el 05 de agosto de 2025, de <https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2024/11/05/nueva-norma-luminica-tiene-por-objetivo-protoger-la-biodiversidad-ambiental.html>
- España. Comunidad Autónoma de Andalucía. (2025, 11 de febrero). Decreto 37/2025 de 11 de febrero de la Comunidad Autónoma de Andalucía: Aprueba el reglamento de protección frente a la contaminación lumínica (D. 37/2025). Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de https://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/947318-d-37-2025-de-11-feb-ca-andalucia-aprueba-el-reglamento-de-proteccion-frente.html
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6), e1600377. Recuperado el 08 de julio de 2025, de <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Finlandia. Jari, L. (2014). The case of light pollution from traffic [Informe / tesis]. Universidad de Helsinki. Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/9536dd01-24a8-4c5d-9831-c2db3f4d0c65/content>
- Francia. Ministerio de la Transición Ecológica. (2018). Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses. *Journal Officiel de la République*

Française (N.º 300, 28 de diciembre de 2018). Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037864346>

Fundación Cielos de Chile. (2025). Norma lumínica. En Cielos de Chile – Contaminación Lumínica. Recuperado el 07 de agosto de 2025, de <https://cieloschile.cl/norma-luminica/>

Fundación Cielos de Chile. (2024). 17 especies de aves marinas se ven afectadas por la contaminación lumínica en Chile. Recuperado el 10 de agosto de 2025, de <https://cieloschile.cl/17-especies-de-aves-marinas-se-ven-afectadas-por-la-contaminacion-luminica-en-chile/>

Gaston, K. J., Visser, M. E., & 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), 20140133. Recuperado el 08 de julio de 2025, de <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>

Giavi, S., Fontaine, C., & Knop, E. (2021). Impact of artificial light at night on diurnal plant–pollinator interactions. *Nature Communications*. Recuperado el 27 de agosto de 2025, de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7966740/>

Haase, K. (2024, 6 de junio). To protect pollinators, we need to fight light pollution. Xerces Society. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://xerces.org/blog/to-protect-pollinators-we-need-to-fight-light-pollution>

Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K., & Tockner, K. (2022). Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution*, 37(4), 360–372. Recuperado el 23 de octubre de 2025, de <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.11.006>

International Dark-Sky Association. (2025). Light pollution harms wildlife and ecosystems. Recuperado el 31 de octubre de 2025, de <https://darksky.org/resources/what-is-light-pollution/effects/wildlife-ecosystems/>

Italia. Bermejo Latre, J. L. (2007). Política ambiental de Italia. *Anuario de Derecho Ambiental. Observatorio de Políticas Ambientales*, 1, 219–232. Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de https://www.boe.es/biblioteca_juridica/anuarios_derecho/abrir_pdf.php?id=ANU-O-2007-10021900232

Kiss, T. (2025, 20 de mayo). Investigación exploratoria. *Enciclopedia Concepto*. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://concepto.de/investigacion-exploratoria/>

Kyba, C. C. M., Kuester, T., de Miguel, A. S., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., & Guanter, L. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 3(11), e1701528. Recuperado el 08 de julio de 2025, de <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>

- Lambrinos, J. G., Kleier, C. C., & Rundel, P. W. (2006). Plant community variation across a puna landscape in the Chilean Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79(2), 233–243. Recuperado el 27 de agosto de 2025, de <https://www.redalyc.org/pdf/3699/369944278009.pdf>
- Lifeder. (2022, 3 de octubre). Método descriptivo: Qué es, características, etapas, ejemplos. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.lifeder.com/metodo-descriptivo/>
- Medrano Martínez, F., Barros, R., Norambuena, H. V., Matus, R., & Schmitt, F. (2018). Atlas de las aves nidificantes de Chile (Tomo I) [PDF]. Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de https://estrategia-aves.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/03/Medrano_etal_2018_Atlas-de-las-aves-nidificantes-de-Chile.pdf
- Mesa Multiactor, (2019). Informe técnico hidrológico: 2019_MAR_HYD_T_ESP. Recuperado el 10 de diciembre de 2025, de https://www.mesamultiactor.cl/wp-content/uploads/2023/01/2019_MAR_HYD_T_ESP.pdf
- México. Cámara de Diputados. (2021). Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (LGPEA). Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>
- Ministerio de Educación (Chile). (s. f.). Mapa región de Atacama (color). Recuperado el 31 de octubre de 2025, de <https://www.curriculumnacional.cl/portal/Educacion-General/Historia-Geografia-y-Ciencias-Sociales-1-basico/HI01-OA-09/132493:Mapa-region-de-Atacama-color>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Institucionalidad ambiental y desarrollo sustentable [PDF]. SINIA. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/2-institucionalidad-ambiental-y-desarrollo-sustentable.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Informe del estado del medio ambiente / Capítulo 11: Contaminación lumínica. Recuperado el 04 de noviembre de 2025, de <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/11-contaminacion-luminica.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022, junio). Contaminación lumínica en Chile y el mundo. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://luminica.mma.gob.cl/contaminacion-luminica-en-chile-y-el-mundo/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2024a). Plazos de cumplimiento Nueva Norma Lumínica. En Contaminación Lumínica (Ministerio del Medio Ambiente). Recuperado el 07 de agosto de 2025, de <https://luminica.mma.gob.cl/plazos-norma-luminica/>

- Ministerio del Medio Ambiente. (2024b). Nueva Norma Lumínica (D.S. N° 1/2022 MMA). En Contaminación Lumínica. Recuperado el 05 de agosto de 2025, de <https://luminica.mma.gob.cl/norma-luminica/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2024c). Resolución Exenta N° 1: Protocolo de Análisis y Ensayos de Contaminación Lumínica de Luminarias y/o Proyectores de Alumbrado de Exteriores [Resolución]. Vlex Chile. Recuperado de <https://vlex.cl/vid/resolucion-exenta-numero-1-1047200432>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2025). Áreas de protección especial. En Contaminación Lumínica. Recuperado el 05 de agosto de 2025, de <https://luminica.mma.gob.cl/areas-de-proteccion-especial/>
- Morales Rubio, Á. (2011). Impacto de la contaminación lumínica sobre la naturaleza y la biodiversidad [PDF]. Departamento de Química Analítica, Grupo de Investigación SOLINQUIANA. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.uv.es/salvemlanit/Documents/CLmadrid.pdf>
- Morales Balcázar, R. (Coord.), Jerez Henríquez, B., Uribe Sierra, S., & otros. (2021). Salares Andinos: Ecología de saberes por la protección de nuestros salares y humedales [PDF]. Fundación Tantí. Recuperado el 31 de octubre de 2025, de <https://desarrollocurricular.uantof.cl/wp-content/uploads/2024/01/Salares-Andinos-Ecologia-de-Saberes-por-la-proteccion-de-nuestros-salares-y-humedales.pdf>
- Municipalidad de San Pedro de Atacama. (2024, 3 de octubre). San Pedro de Atacama avanza en la reducción de la contaminación lumínica con la remoción de luminarias del estadio municipal. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://munispa.cl/san-pedro-de-atacama-avanza-en-la-reduccion-de-la-contaminacion-luminica-con-la-remocion-de-luminarias-del-estadio-municipal/>
- Naciones Unidas. (2022, 24 de mayo). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Noticias UdeC. (2024, 29 de octubre). Nueva Norma Lumínica: Un paso crucial para la conservación de la biodiversidad y la observación astronómica en Chile. Diario Concepción. Recuperado el 05 de agosto de 2025, de <https://www.diarioconcepcion.cl/ciencia-y-sociedad/2024/10/29/nueva-norma-luminica-un-paso-crucial-para-la-conservacion-de-la-biodiversidad-y-la-observacion-astronomica-en-chile.html>
- Núñez, V. (25 de septiembre de 2025). Posible amenaza a observación astronómica: estudio revela que 118 proyectos ignoran normativa contra contaminación lumínica. EMOL. Recuperado de <https://www.emol.com/noticias/Tecnologia/2025/09/25/1178694/observatorios-astronomicos-proyectos-contaminacion-luminica.html>

Organización de las Naciones Unidas. (2015a). Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad. Naciones Unidas. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>

Organización de las Naciones Unidas. (2015b). Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Naciones Unidas. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>

Organización de las Naciones Unidas. (2015c). Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Naciones Unidas. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

Organización de las Naciones Unidas. (2015d). Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Naciones Unidas. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

Organización de las Naciones Unidas. (2015e). Objetivo 17: Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/globalpartnerships/>

Organización de las Naciones Unidas. (2025). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Recuperado el 29 de octubre de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Piza Burgos, N. D., Amaiquema Márquez, F. A., & Beltrán Baquerizo, G. E. (2019). Métodos y técnicas en la investigación cualitativa. Algunas precisiones necesarias. *Conrado*, v.15 n.70, 455–459. SCIELO-Conrado. Recuperado el 15 de agosto de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000500455

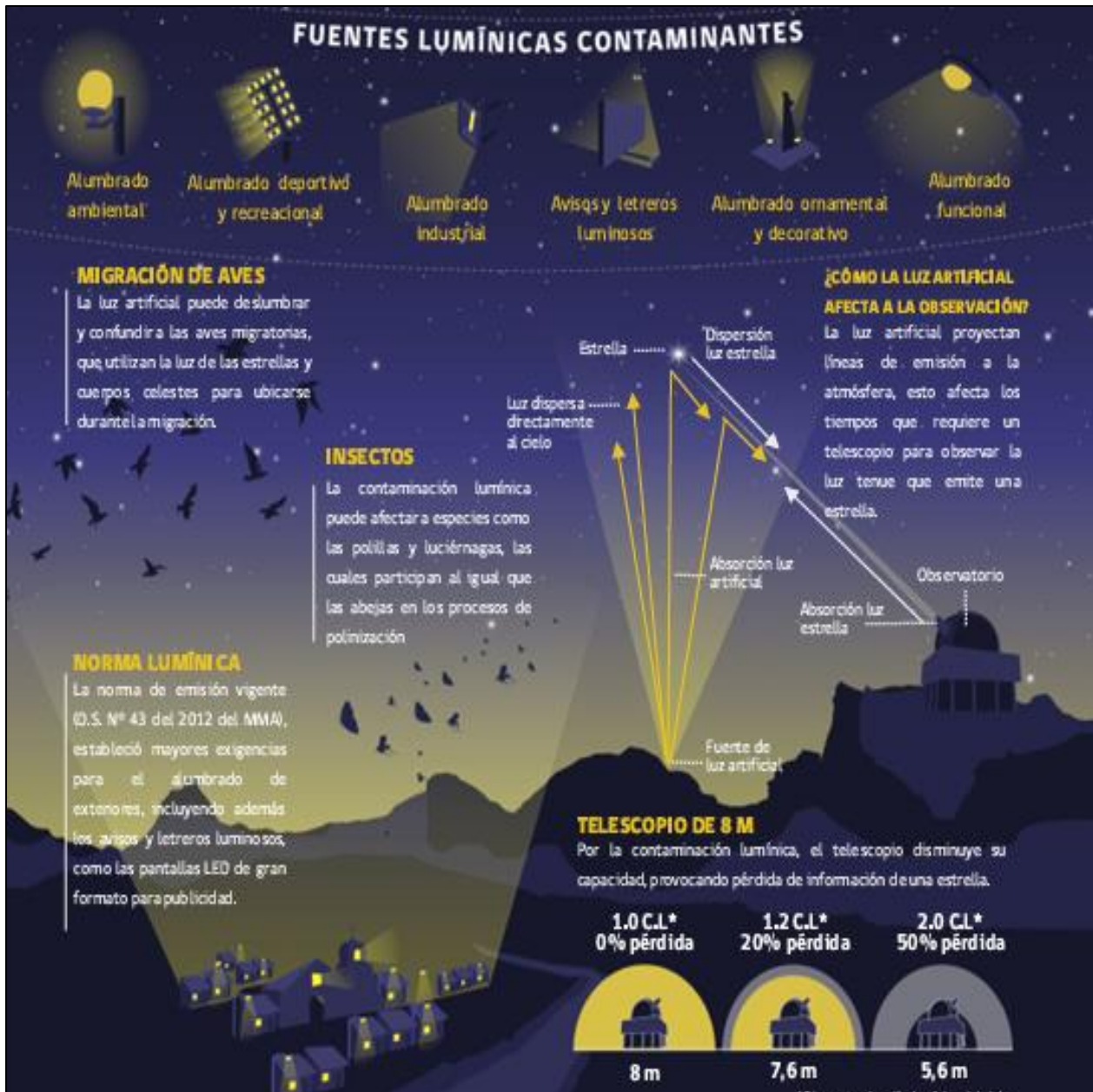
Primer Tribunal Ambiental. (2022, 24 de agosto). Servicio del Medio Ambiente: Expertos analizan contaminación lumínica y su efecto en la biodiversidad [Noticia]. Primer Tribunal Ambiental. Recuperado el 06 de agosto de 2025, de <https://www.1ta.cl/expertos-analizan-contaminacion-luminica-y-su-efecto-en-la-biodiversidad/>

Rulamahue. (2025a). Comuna de Colchane: cobertura del suelo por unidad de relieve [Ficha comunal]. Recuperado el 10 de diciembre de 2025, de <https://rulamahue.cl/fichas/cl01/cl01403.html>

Rulamahue. (2025b). Comuna de Ollagüe: cobertura del suelo por unidad de relieve [Ficha comunal] (código CL02202). Recuperado el 10 de diciembre de 2025, de <https://www.rulamahue.cl/fichas/cl02/cl02202.html>

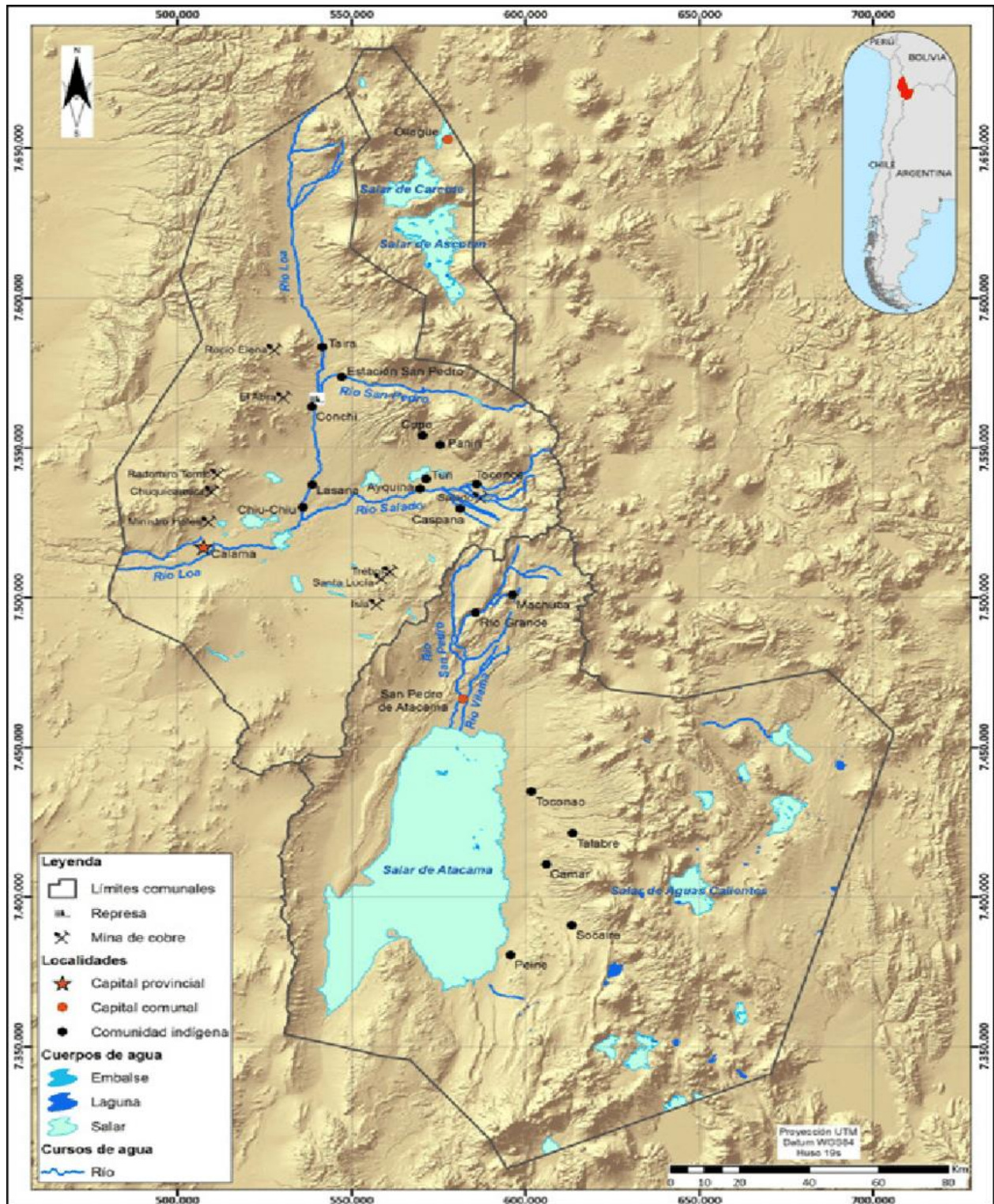
- Sachs, J. S. (2023, 4 de julio). How light pollution impacts wildlife & how you can help. National Wildlife Magazine. Recuperado el 31 de octubre de 2025, de <https://www.nwf.org/Home/Magazines/National-Wildlife/2023/Summer/Conservation/Light-Pollution-Wildlife>
- SEREMI del Medio Ambiente, Región de Atacama. (2024). Informe borrador: Cuenta Pública SEREMI del Medio Ambiente, Región de Atacama 2024 [PDF]. Recuperado el 07 de agosto de 2025, de <https://cuentaspublicas.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/04/Borrador-Informe-CPP-2023-Atacama.pdf>
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2024, 16 de mayo). SEA publicó nuevo criterio de evaluación ambiental sobre afectación de áreas astronómicas [Noticia]. Servicio de Evaluación Ambiental. Recuperado el 07 de agosto de 2025, de <https://www.sea.gob.cl/noticias/sea-publico-nuevo-criterio-de-evaluacion-ambiental-sobre-afectacion-de-areas-astronomicas>
- SkyGlow Project. (2025). SKYGLOW – Light Pollution Awareness Project. Recuperado el 09 de diciembre de 2025, de <https://skyglowproject.com/>
- Squeo, F. A., Warner, B. G., Aravena, R., & Espinoza, D. (2006, junio). Bofedales: High altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79(2), 245–255. Recuperado el 27 de agosto de 2025, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2006000200010
- Subsecretaría de Turismo del Gobierno de Chile. (2024, febrero). La inmensidad de los cielos: conocimiento ancestral y relato de astroturismo en el Norte de Chile [PDF]. Ministerio de Turismo. Recuperado el 08 de agosto de 2025, de <https://www.subturismo.gob.cl/wp-content/uploads/2024/02/relato-astroturismo-norte-de-chile.pdf>
- Superintendencia del Medio Ambiente. (2024, 26 de agosto). Nueva Norma Lumínica: SMA publica protocolo para la certificación de luminarias en Chile. Recuperado el 04 de septiembre de 2025, de <https://portal.sma.gob.cl/index.php/nueva-norma-luminica-sma-publica-protocolo-para-la-certificacion-de-luminarias-en-chile/>
- Velázquez, A. (2023, 16 de junio). Investigación no experimental: Qué es, características, ventajas y ejemplos. QuestionPro. Recuperado el 18 de agosto de 2025, de <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-no-experimental/>

ANEXOS



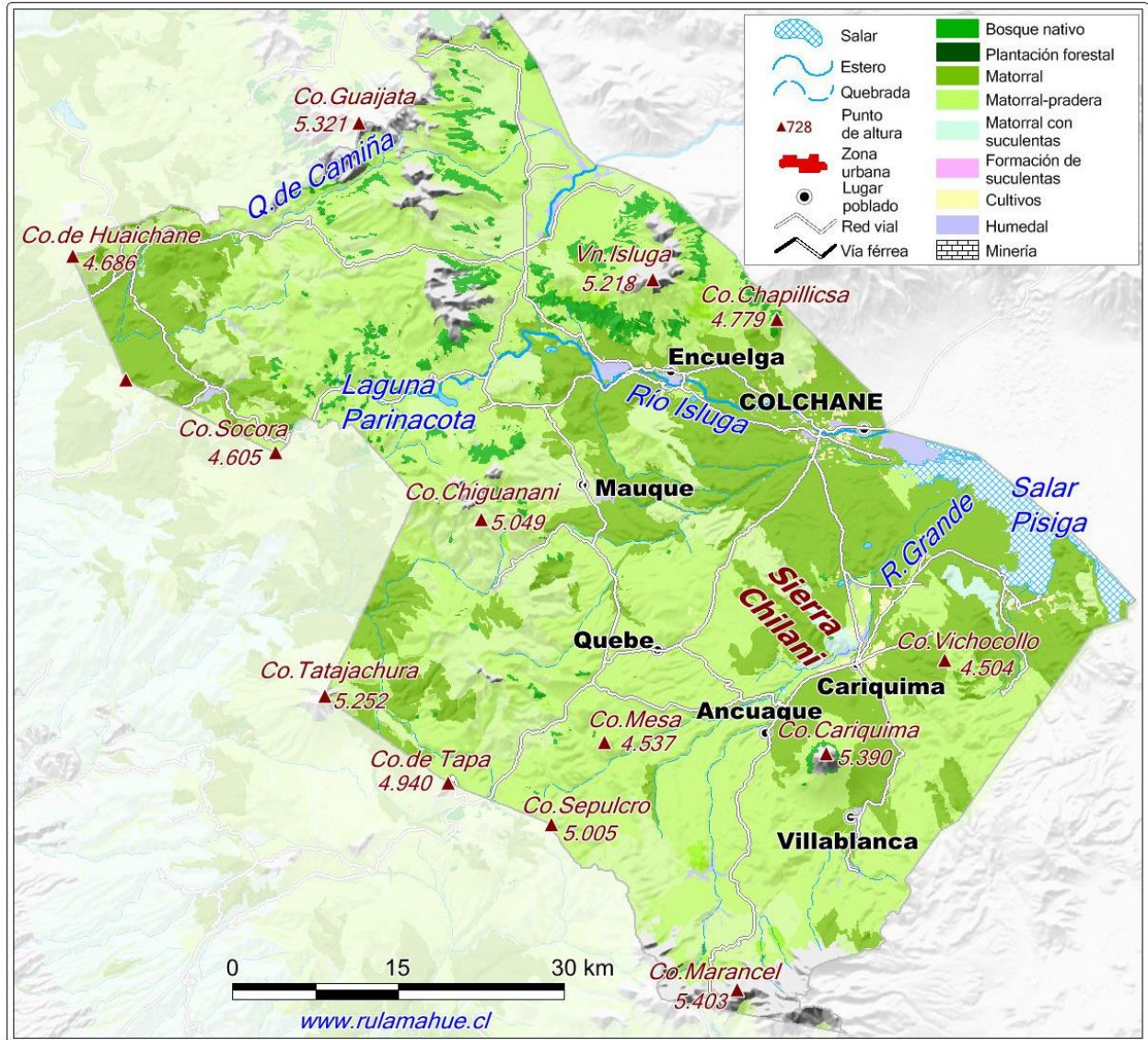
Anexo 1. Fuentes lumínicas contaminantes.

Fuente: Informe del estado del medio ambiente / Capítulo 11: Contaminación lumínica, pág.2 (2021).



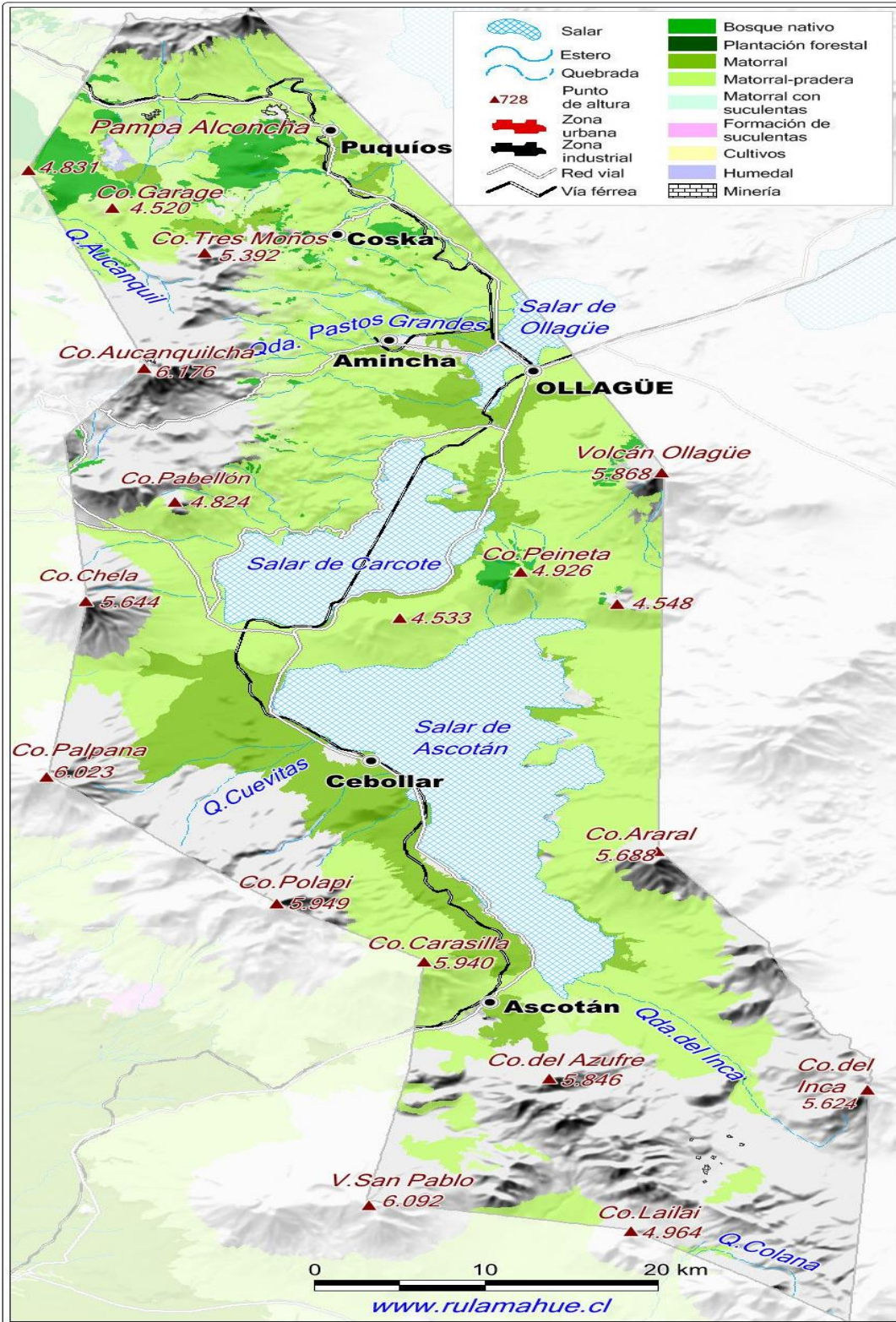
Anexo 3. Mapa de la provincia de El Loa.

Fuente: Calderón-Seguel, M., & Prieto, M. (2020).



Anexo 4. Mapa Comuna de Colchane, cobertura del suelo.

Fuente: Rulamahue. (2025a).



Anexo 5. Mapa Comuna de Ollagüe, cobertura del suelo.

Fuente: Rulamahue. (2025b).