



CAPÍTULO 11

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA



CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La Contaminación Lumínica es un fenómeno que afecta la vida y la actividad humana, como la observación de cielos astronómicos en el norte de nuestro país y la cosmo visión de nuestros pueblos indígenas, así como afecta el desarrollo y las condiciones naturales de la biodiversidad, como en las rutas migratorias de las aves y hábitos de especies nocturnas.

¿QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA?

Es el brillo o resplandor del cielo nocturno, producido por la reflexión o difusión de la luz artificial en los gases y partículas de la atmósfera.

UNA MALA ILUMINACIÓN PROVOCA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

El uso de lámparas de una potencia mayor a la que se necesita y la instalación incorrecta provoca que el HAZ de LUZ no esté bien dirigido al suelo y escape por arriba del horizonte afectando a su entorno.



FUENTES LUMÍNICAS CONTAMINANTES



MIGRACIÓN DE AVES

La luz artificial puede deslumbrar y confundir a las aves migratorias, que utilizan la luz de las estrellas y cuerpos celestes para ubicarse durante la migración.

INSECTOS

La contaminación lumínica puede afectar a especies como las polillas y luciérnagas, las cuales participan al igual que las abejas en los procesos de polinización.

NORMA LUMÍNICA

La norma de emisión vigente (D.S. N° 43 del 2012 del MMA), estableció mayores exigencias para el alumbrado de exteriores, incluyendo además los avisos y letreros luminosos, como las pantallas LED de gran formato para publicidad.

¿CÓMO LA LUZ ARTIFICIAL AFECTA A LA OBSERVACIÓN?

La luz artificial proyectan líneas de emisión a la atmósfera, esto afecta los tiempos que requiere un telescopio para observar la luz tenue que emite una estrella.



TELESCOPIO DE 8 M

Por la contaminación lumínica, el telescopio disminuye su capacidad, provocando pérdida de información de una estrella.



*C.L.: contaminación lumínica del cielo. A mayor valor (%), mayor C.L.

INTRODUCCIÓN

Por millones de años el ciclo natural de luz y oscuridad de nuestro planeta, expresado en el día y la noche, ha conducido la evolución de las especies, para llevarlas a la gran diversidad existente y que se continúa descubriendo. Tan importante como el día con la luz del sol es la noche, con la luz de otros astros y cuerpos celestes que cubren el cielo nocturno.

Son condiciones únicas para el desarrollo de la vida, la salud de las personas y el desenvolvimiento de actividades tan relevantes como la astronomía.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES: LA LUZ ARTIFICIAL Y SUS IMPACTOS

- 1.1. CONTAMINACIÓN LUMÍNICA
- 1.2. EL PROBLEMA DE LA LUZ AZUL

2. DIAGNÓSTICO: ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

- 2.1. ESTADO DE LOS CIELOS PARA LA OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA
- 2.2. ESTADO DEL IMPACTO EN BIODIVERSIDAD EN CHILE
- 2.3. ESTADO DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMA LUMÍNICA

3. HACIA DONDE VAMOS: EL USO SOSTENIBLE DE LA LUZ ARTIFICIAL

- 3.1. ESTRATEGIA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA: USO SOSTENIBLE DE LA LUZ
- 3.2. PROCESO DE REVISIÓN DE LA NORMA LUMÍNICA
- 3.3. MESA DE COORDINACIÓN PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA
- 3.4. DECLARACIÓN DE ÁREAS CON VALOR CIENTÍFICO Y DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA
- 3.5. PLANES DE RECUPERACIÓN, CONSERVACIÓN Y GESTIÓN DE ESPECIES (RECOGE)

REFERENCIAS

1. Antecedentes

1.1 Contaminación Lumínica

La contaminación lumínica corresponde a la luz artificial, que es desaprovechada y que altera las condiciones naturales del medio ambiente, generando impactos en la observación del cielo, en la salud de las personas y en la biodiversidad.

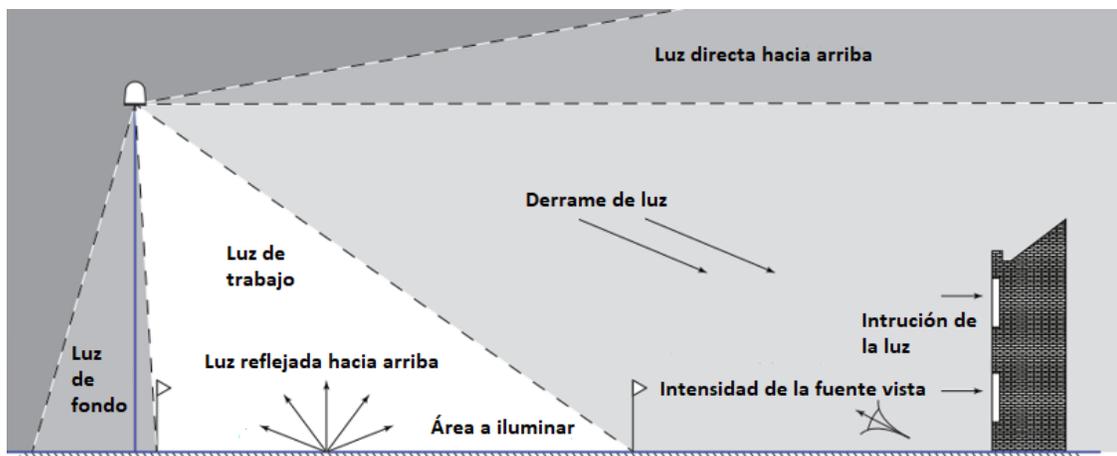
Este tipo de contaminación, que aumenta todos los años alrededor de un 2.2% (Kyba, 2016), implica un gasto energético innecesario y se manifiesta principalmente como el brillo del cielo nocturno sobre las fuentes desde donde proviene la luz, una ciudad o una industria, lo que también se conoce como Sky Glow, y que puede iluminar incluso lugares situados a kilómetros de la fuente.

La contaminación lumínica también se puede presentar como luz intrusa o intrusiva, que es aquella que ingresa a las viviendas o al nido de alguna especie y produce deslumbramiento, que corresponde a la pérdida momentánea de la visión, producida por la exposición a una luz muy intensa. (Figura 1)

La contaminación lumínica es provocada muchas veces por un diseño inadecuado del sistema de alumbrado, el cual desaprovecha la luz iluminando superficies que no son de interés o incluso enviándola hacia el cielo. (Fuente: adaptado de (Institution of Lighting Professionals, 2020)



Figura 1. Tipos de luz intrusiva

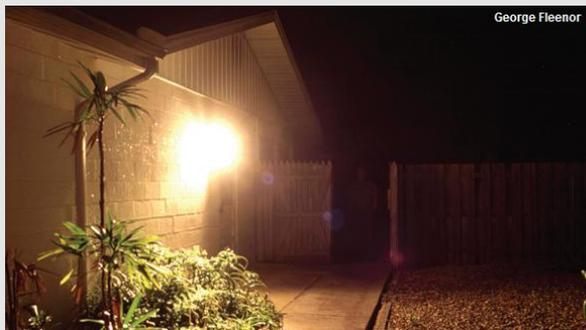


Fuente: Guidance note 01/20, Guidance notes for the reduction of obstrusive light, Institution of Lighting Professionals.

Mala iluminación y seguridad ciudadana

Una iluminación excesiva por mal dimensionamiento, además de ocasionar un gasto energético innecesario, puede causar problemas en la seguridad de las personas. Mayores niveles de iluminación no deben ser entendidos como más seguridad,

Porque si la instalación produce encandilamiento no es segura. En las fotografías se puede observar cómo el encandilamiento reduce el campo visual de todo lo que se ubique por detrás de la luminaria.



Fuente: George Fleenor.

Campo visual disminuido por encandilamiento de luminaria de seguridad. Fuente: George Fleenor - Dark Sky Defenders.

A raíz de la irrupción del LED, o diodo emisor de luz, como alternativa de recambio a las antiguas luminarias de descarga –por ejemplo, las de sodio de alta presión de color amarillo– y los impactos que provocaron las primeras luminarias led blancas frías por su alto contenido de luz azul, el Departamento de Energía de Estados Unidos publicó los resultados de una investigación acerca de las variables que mayormente incidían en el brillo del cielo (U.S. Department of Energy, 2017).

El estudio determinó que, para reducir el brillo del cielo generado por el sodio de alta presión (luces amarillas), las luminarias LED debían:

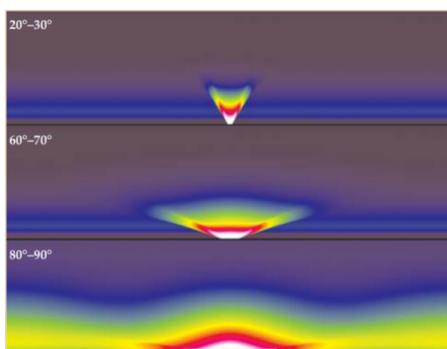
- 1 Evitar completamente la emisión de luz hacia el hemisferio superior.
- 2 Reducir los niveles de iluminación.
- 3 Controlar la emisión de luz en el rango azul, a través del uso de luminarias de color blanco cálido o ámbar.
- 4 Avanzar en un control efectivo de la luz azul, el que junto con un buen diseño de iluminación, permitirá contar con una tecnología que reduce el brillo del cielo y con ello, los impactos asociados a la salud de las personas, la biodiversidad y la observación astronómica.



Imagen. **(Figura 2)** A medida que la emisión de luz se dirige sobre el plano horizontal que divide los hemisferios inferior y superior, la dispersión de la luz será mayor, que aquella luz dirigida totalmente hacia el cielo. **(Tabla1)**

Solo pequeñas cantidades de luz hacia el hemisferio superior pueden tener un efecto de aumento del brillo del cielo. Fuente: (Luginbuhl, 2009).

Figura 2. Emisión de luz en dirección al plano horizontal



Fuente: Luginbuhl, C. Walker, C. Wainscoat, R. (2009). Lighting and Astronomy, Physics Today 62, 12, 32.

Tabla 1. Dispersión de luz

Iluminación hacia arriba	Relación cielo - brillo		
	50 km	100 km	200 km
0%	1.0	1.0	1.0
1%	1.3	1.6	2.0
3%	1.8	2.7	3.9
10%	3.8	6.7	10.6

1.2 El problema de la luz azul

La luz azul forma parte importante del día. Es el color del cielo, producto de la dispersión de la luz del sol en la atmósfera terrestre y de la reflexión del cielo en las aguas de mares, lagos y ríos. Sin embargo, su presencia en el periodo nocturno, a consecuencia de la iluminación artificial, puede aumentar el brillo del cielo y afectar el ciclo natural de luz y oscuridad, resultando perjudicial para la salud de las personas y para la biodiversidad, según concluyó un reporte presentado por la Asociación Médica Estadounidense (Kraus, 2016).

El recambio masivo a luces LED como alternativa para iluminar las ciudades, impulsado por un ahorro energético superior a 50% frente a otras tecnologías (Schulte-Römer, 2019), permitió que los primeros LED blancos fríos se instalaran en áreas urbanas cuando la tecnología aún no maduraba hacia un control efectivo de la luz azul. De esta manera, incrementó la cantidad de luz azul en el ambiente respecto de tecnologías antiguas como el sodio de alta presión, que posee un bajo contenido de luz en este mismo rango, con el consiguiente aumento en los impactos que ya se venían estudiando y buscando controlar en todo el mundo.

En un principio la astronomía encendió las alarmas, debido a que el mayor brillo afecta gravemente la adecuada observación, por la dispersión que produce en la atmósfera y que disminuye la visibilidad de los cuerpos celestes. Posteriormente, derivado de estudios sobre el impacto de las pantallas de dispositivos móviles en la salud de las personas (Chang, 2014), se descubrió que la exposición a luz azul en la noche afecta procesos biológicos relacionados con el descanso e inhibe mecanismos de defensa ante enfermedades como el cáncer.

Finalmente, la observación de una mengua constante de la biodiversidad -tales como aves migratorias, insectos, tortugas marinas y otras especies- confirmó que la contaminación lumínica había trascendido las barreras de la actividad humana y se transformaba en un problema ambiental global.

La situación actual parece mostrar un punto de inflexión para enfrentar la contaminación lumínica derivada del componente azul de la luz: existe un mayor conocimiento del problema y el desarrollo tecnológico en iluminación ha evolucionado en la dirección de reducir su impacto (Schulte-Römer, 2019).

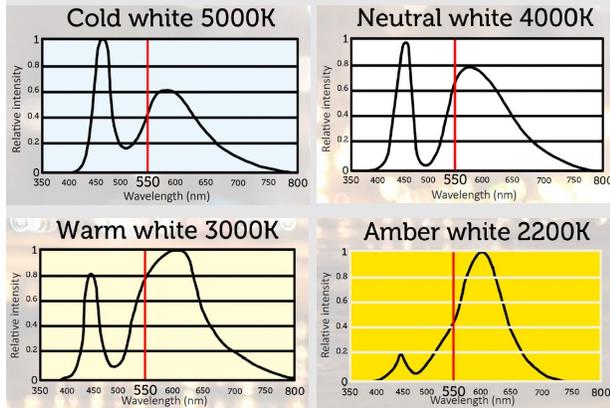
Sin embargo, ahora se hace necesario avanzar en la implementación de tecnologías que disminuyan el componente azul de la luz artificial con un enfoque de sostenibilidad y no tan solo desde la eficiencia energética.



EL LED,

UNA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA EN DESARROLLO

La introducción del Diodo Emisor de Luz Azul (LED Azul) en la década de los 90' y su masificación en los 2000, representó una revolución en la industria de la iluminación, con aplicaciones tanto para interiores y como para exteriores. Esto se logró aplicando una capa de fósforo sobre el chip LED de color azul, la cual permite obtener luz blanca (compuesta por toda la gama de colores visibles), con diversas tonalidades que van desde el blanco frío, con un peak muy fuerte en el rango azul[1], a las cálidas, con una reducción de luz en el rango azul, que son las apropiadas para reducir la contaminación lumínica.



Espectro de emisión de luminarias LED de diferentes temperaturas de color, el peak de luz azul se ubica entre los 380 nm y 499 nm.

Reducen brillo del cielo con nuevas luminarias

En 2017 se realizó en la ciudad estadounidense de Tucson, Arizona, un recambio masivo de 18.000 luminarias por tecnología led con una temperatura de color cálida de 3.000 K (grados Kelvin). A través de mediciones se determinó que esta acción significó aminorar el brillo del cielo en aproximadamente 7%, constituyendo un aporte significativo a la disminución de la contaminación lumínica.



Tucson, Arizona skyline y montañas de Santa Catalina en la noche (IDA, 2018).

Vía Láctea sobre el Observatorio Paranal, Very Large Telescope (VLT), Desierto de Atacama, Región de Antofagasta.

(Fuente: Y. Beletsky (LCO)/ESO)



1.2.1. Impactos en la observación astronómica

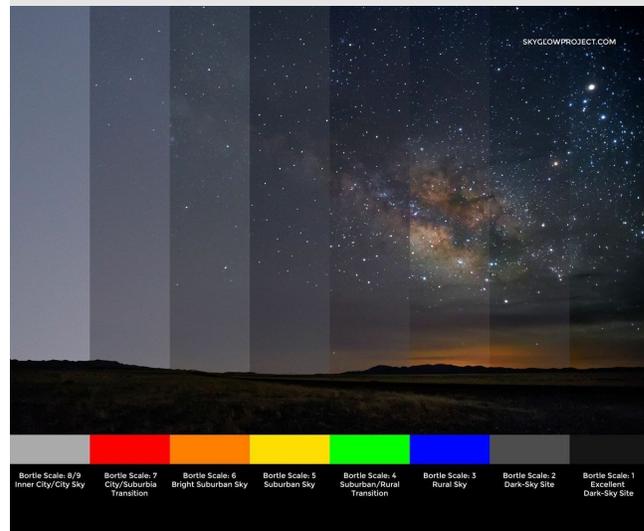
El ser humano conoce el universo a través de la luz, tanto la que es visible para sus ojos como aquella que no puede ver –como ondas de radio o rayos gamma provenientes de galaxias lejanas. Para esto, deben darse ciertas condiciones ambientales de limpieza y oscuridad de los cielos, así como otras climáticas y geográficas, que solo presentan algunos lugares del mundo. El desierto de Atacama es uno de estos sitios privilegiados, concentrando por ello una parte muy importante de la observación astronómica mundial por medio de grandes observatorios internacionales instalados en el norte del país. Sin embargo, este patrimonio tan relevante para la ciencia se ve amenazado por la contaminación lumínica, generada por centros urbanos e instalaciones industriales.

El aumento de la luz azul en el ambiente a raíz del recambio a luminarias LED blanco frío impacta directamente en el desarrollo de la actividad astronómica, dado que su luz azul, cuya longitud de onda puede ir entre los 380 nm y 499 nm, se dispersa con mayor facilidad en la atmósfera, elevando así la contaminación lumínica (U.S. Department of Energy, 2017) (Luginbuhl, 2009). Cuando la luz de alumbrados de exteriores es percibida por un telescopio, se debilita su capacidad de observación y la porción del cielo que se encuentra contaminado ya no puede ser objeto de estudio.

Por esto, reducir la luz azul va en directa relación con la disminución de la contaminación lumínica y con la mejora en la calidad del cielo nocturno para su observación y conservación.

ÍNDICE BORTLE Y OSCURIDAD DEL CIELO

Para reconocer la calidad del cielo nocturno para la astronomía, el estadounidense John E. Bortle desarrolló en 2001 una escala con 9 categorías, que van desde cielos con muy baja calidad para la observación, como los que hay en una ciudad (8 y 9 según la escala), hasta la categoría de cielo muy oscuro (1), que ofrece una excelente calidad para mirar las estrellas (Figura 4). Esta escala puede ser construida de manera más precisa a través de mediciones en términos de magnitud/arcsec², unidad de medida utilizada por los astrónomos para medir el brillo del cielo. La escala comprende valores que van desde los 18 magnitud/arcsec² o menos, para las calidades de cielo más bajas, hasta por sobre los 21,9 magnitud/arcsec². Como referencia, los sitios de observación de La Silla y Paranal, en el desierto de Atacama, se encuentran en la categoría 1 de la escala, con un valor de 21,7 magnitud/arcsec²



1.2.2. Ciclo circadiano, impactos en los seres vivos

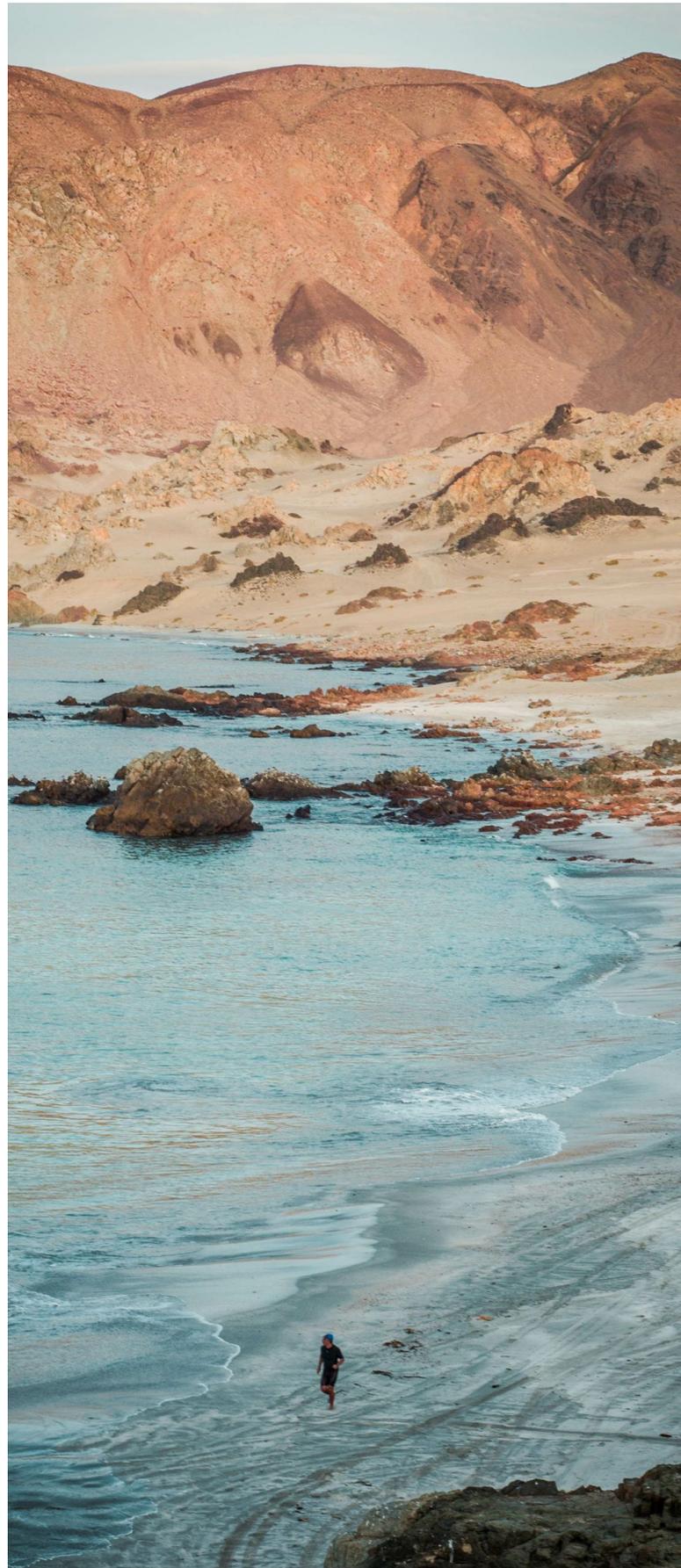
La luz es un indicador esencial de los ciclos de luz y oscuridad, actuando como un regulador del ciclo circadiano de los organismos. Las especies han evolucionado en relación con estos ritmos biológicos, adaptando su respuesta a las condiciones del entorno para desarrollar actividades tan fundamentales como la alimentación, la reproducción y la migración, entre otras (Barentine, 2019).

En este sentido, la luz artificial introducida en los ecosistemas naturales produce cambios en el comportamiento de las especies, alterando su ciclo circadiano (Grubisic, 2019), atrayéndolas, como en el caso de algunas aves, a lugares donde pueden ser presa fácil de depredadores o desviándolas de su camino, convirtiéndose en una verdadera trampa (Silva, Medrano, & Tejeda, 2020).



Los alumbrados de exteriores confunden o deslumbran a especies como aves migratorias, que utilizan la luz de las estrellas y cuerpos celestes para ubicarse durante la migración. (arriba) Fardela Blanca, *Ardenna creatopus* (fuente:Oikonos); (abajo) Golondrina de Mar Negra, *Oceanodroma markhami*.

Fuente: (Silva, Medrano, & Tejeda, 2020).



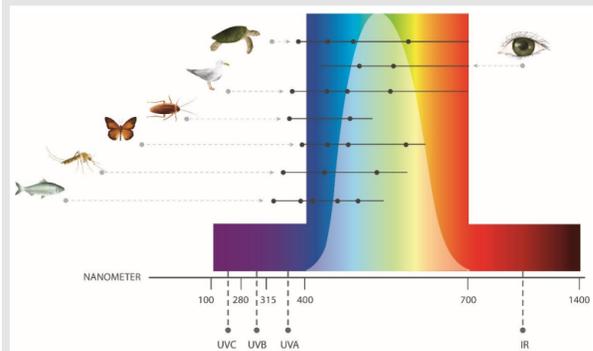
1.2.3. Mecanismos de visión humana

Al igual que las demás especies, el ser humano posee un rango acotado de visión sobre el espectro electromagnético, el cual ha evolucionado en función de la luz natural del ambiente diurno y nocturno. A partir de estos estímulos, el cuerpo cuenta con un reloj biológico sincronizado con el día y la noche a través de fotorreceptores situados en la retina, los que estimulan la secreción de melatonina u "hormona del sueño".

Cuando se alteran los ciclos de luz y oscuridad, por la exposición durante la noche a luz azul proveniente de las pantallas de celulares y televisores, o la exposición a luminarias blancas frías, se inhibe la producción de melatonina, cuyas funciones rebasan la inducción del sueño y la convierten también en un agente antioxidante, inmunestimulante y oncostático en determinados tipos de cáncer (Kraus, 2016).

Si bien, esta supresión puede ser restituida durante las primeras horas de la noche al dejar de exponerse a la fuente, la situación es distinta si la exposición a la luz azul es en la segunda mitad de la noche, puesto que ya no sería posible restablecer los niveles altos de melatonina (RoI, 2011). Por esto, es importante reducir la exposición a la luz azul, la cual puede provenir incluso de los sistemas de alumbrado exterior, como el alumbrado público o publicitario, que por su instalación o altos niveles ingresa luz intrusivamente a los dormitorios de las personas.

El espectro visible, expresado en longitudes de onda en nanómetros (10⁹) depende de la especie. Algunas especies pueden ser mucho más sensibles en colores que los seres humanos no vemos. La curva de color blanco sobre el espectro representa la curva de visión fotópica del ser humano.



Fuente: (Australian Government, Department of the Environment and Energy, 2020).



1.2.4. Cielo nocturno y cosmovisión de los pueblos indígenas

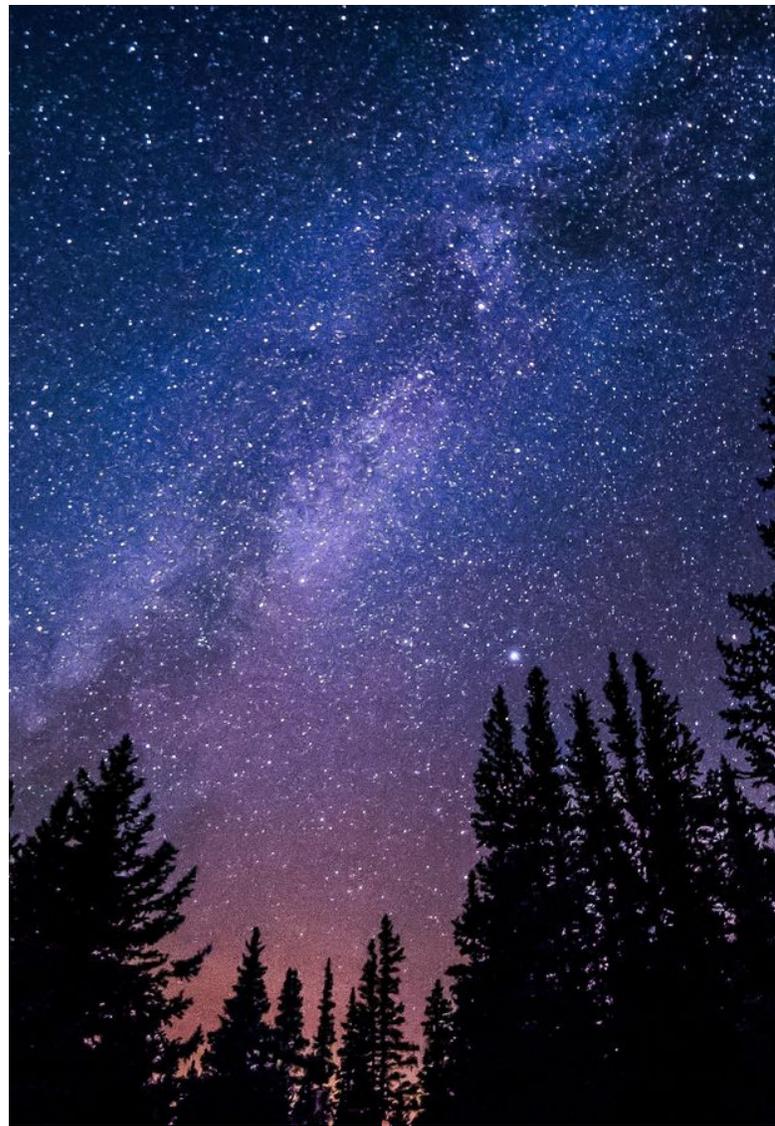
Parte del patrimonio cultural del país reside en el cielo nocturno y en la interpretación que realizan de éste los pueblos originarios, que no solo cuenta la historia del origen de la Tierra y todo lo que en ella habita, sino que también es fuente de información esencial para la vida de estas comunidades.

En el cielo nocturno, sin contaminación lumínica, es posible observar un sinnúmero de estrellas, los planetas que forman parte del sistema solar, parte de la galaxia donde se encuentra e incluso galaxias cercanas, como las Nubes de Magallanes. Cada pueblo originario le asigna un nombre y una interpretación a lo que podía ver en la noche, llegando a manejar un conocimiento muy detallado del cielo, el cual era traspasado de una generación a otra, usualmente a través de relatos.

Uno de los objetos más presentes en la noche es la galaxia, la Vía Láctea, como se la denominó en Occidente, que atraviesa todo el cielo nocturno y que pueblos como los mapuche o los andinos del norte, como los aymaras, atacameños y quechuas (Berenguer, 1986) asocian con un río en el cielo, o con una criatura marina en el caso de los Rapa-Nui. (Edwards, 2018).

Particularmente para los Mapuche, la vía láctea (Lewfü, Lewbü, Wenulewbü), junto con las Nubes de Magallanes (Lafken, Labken, Künchanlabken), se conoce como las aguas del mundo de arriba o Wenumapu (Pozo, 2014). Su observación les permite calcular el tiempo en la noche, sirve para la realización de ceremonias como el Nguillatún o como indicador climático en función de su color o brillo. Otra denominación que se da a la Vía Láctea, pero relacionada con sus creencias acerca de la muerte, es Rüpü o Camino del Cielo, lugar adonde llegan las personas ancianas fallecidas y que fueron buenas durante su paso por la tierra.

Para los pueblos originarios también es relevante la constelación de Orión, en especial el llamado cinturón de Orión, conformado por tres brillantes estrellas: Alnitak, Alnilam y Mintaka, también conocidas como las Tres Marías, Weluwitraw en el pueblo mapuche y Tautoru para los Rapa-Nui, las que marcaban el inicio del año. En los pueblos andinos del norte esta constelación es denominada Chakana y se considera como un puente para cruzar el río Mayu.



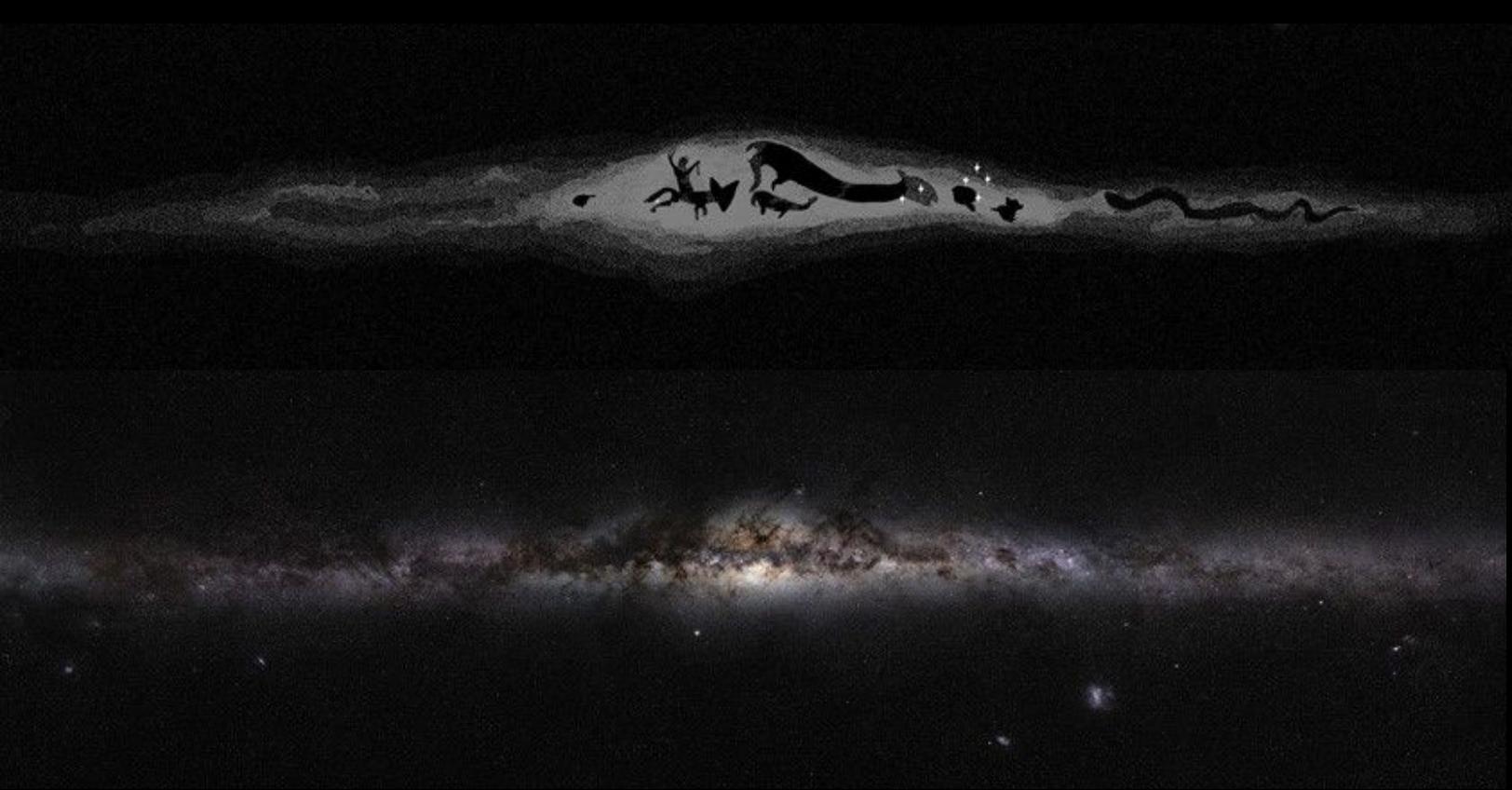
El río Mayu y el mito de Yakana

Para los aymaras, atacameños y quechuas, habitantes de la cordillera norte del país, la Vía Láctea era un río llamado Mayu que cruza todo el cielo, y las constelaciones se formaban a partir de las sombras que se producían entre las estrellas. Una de las constelaciones más importantes es la de la Llama o Yakana, la que caminaba a través de este río junto con su cría, amamantándola. Según el mito, durante la noche y sin que nadie la viera, Yakana bebía el agua del océano, evitando así la inundación de la tierra.

Cuando Yakana bajaba a beber el agua de un manantial podía ser vista por alguien. En ese momento, caía sobre la persona, oprimiéndola con una gran cantidad de lana, al punto que debía arrancar un poco.

Si al otro día la persona encontraba la lana que había arrancado, que a la luz del sol se veía de todos los colores, debía adorar a Yakana en el mismo lugar donde se la había encontrado y conseguir lo antes posible una pareja de llamas, las que se reproducirían en abundancia, brindándole un gran rebaño.

Yakana era acompañada por otros animales, como el zorro, la perdiz, el sapo y la serpiente, los cuales pueden ser vistos atravesando el río Mayu. (Berenguer, 1986)

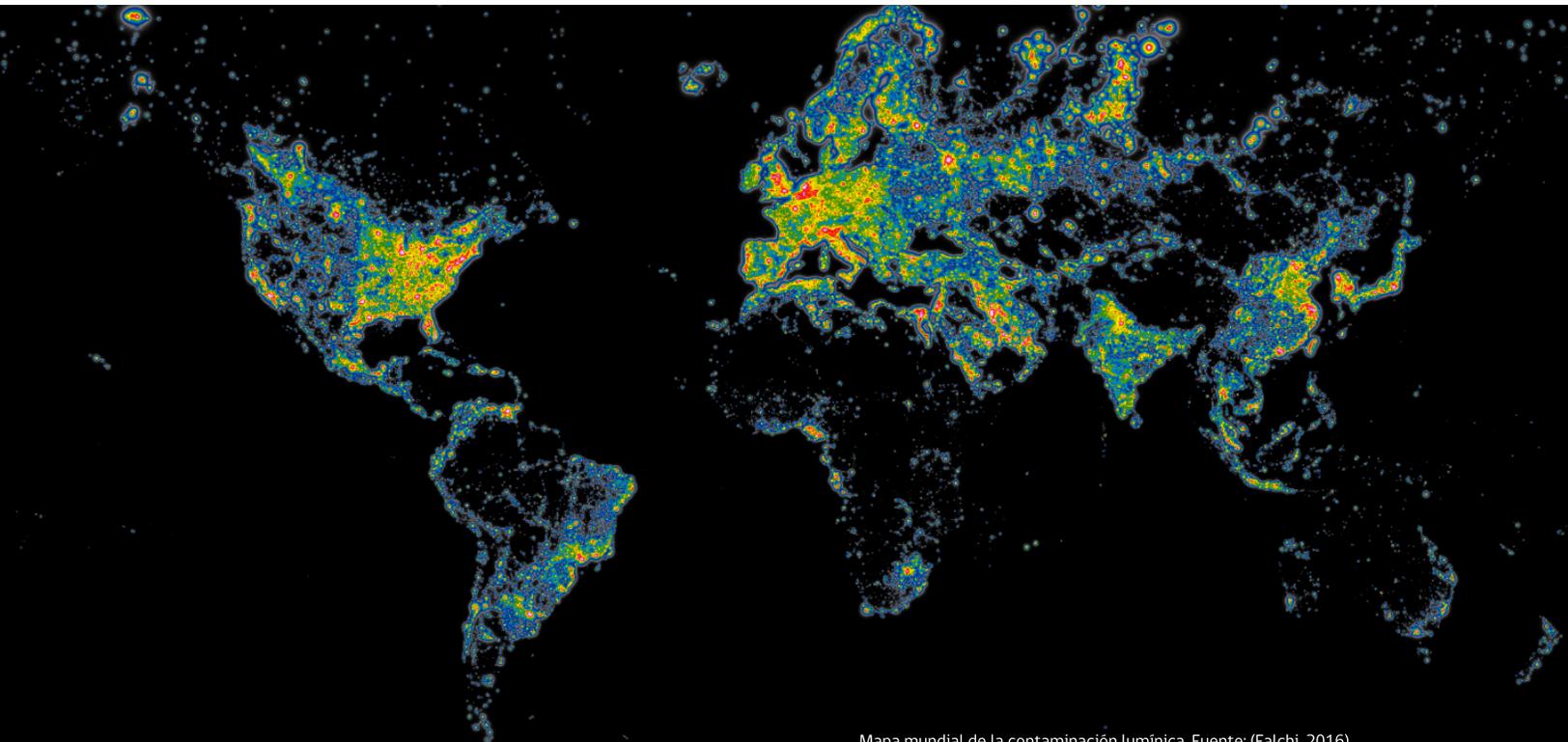


Arriba: interpretación de las constelaciones andinas, con Yakana al centro junto a otros animales. Abajo: la Vía Láctea desde el hemisferio sur. Fuente: Museo Chileno de Arte Precolombino.

2. Diagnóstico: Estado de la contaminación

La contaminación lumínica se encuentra regulada en Chile desde 1998, a través de la primera norma lumínica, enfocada principalmente en la protección del cielo para la observación astronómica. Desde entonces se ha avanzado en el estudio de la problemática y hoy se cuenta con antecedentes de impactos también en la salud humana y la biodiversidad, junto con mejores herramientas para enfrentarla, como son las imágenes satelitales de la superficie terrestre durante la noche.

Así, para estudiar el avance de la contaminación lumínica en el país se han utilizado imágenes satelitales disponibles en servidores de la Agencia Nacional del Aire y el Espacio de Estados Unidos (NASA).



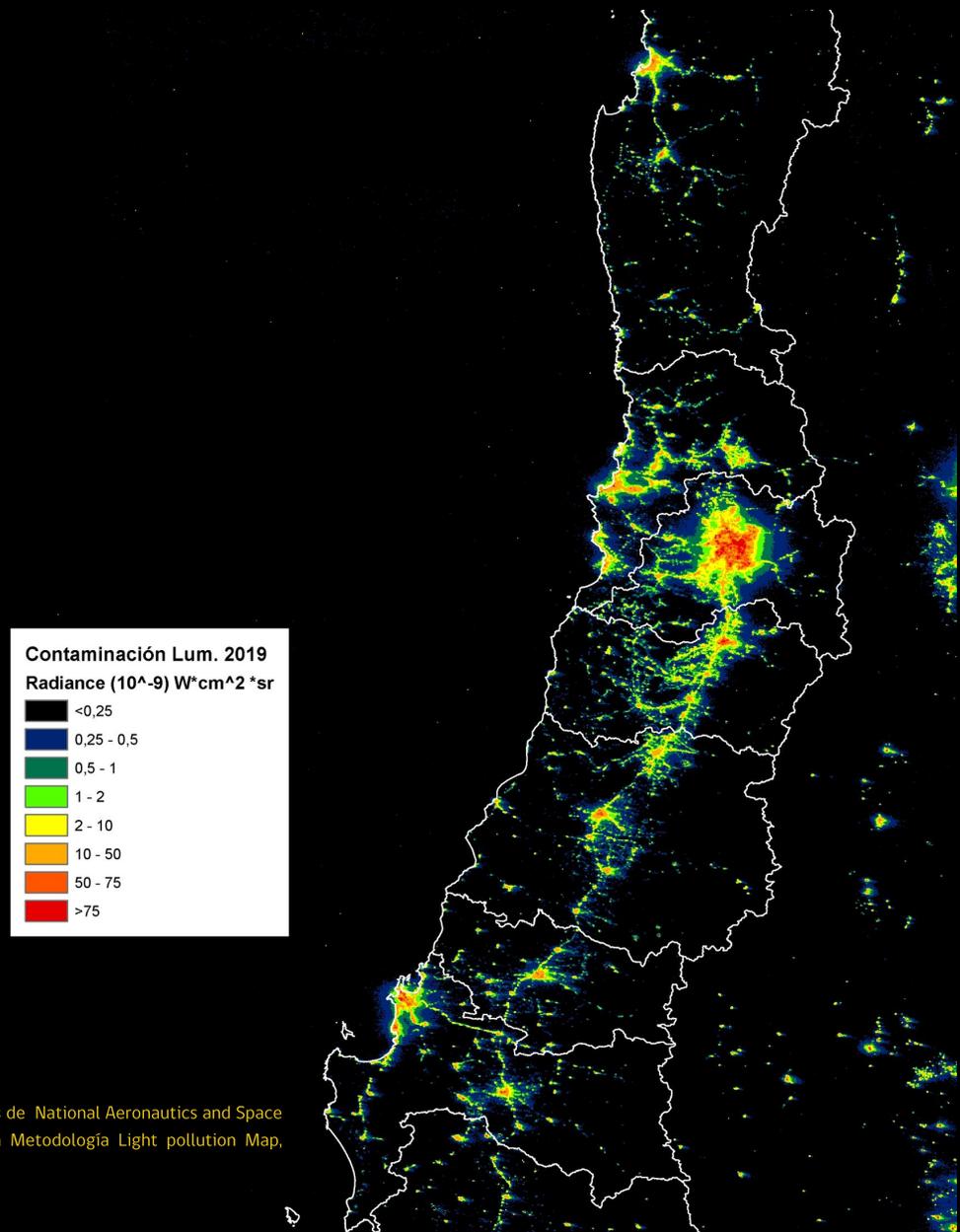
Mapa mundial de la contaminación lumínica. Fuente: (Falchi, 2016)

El examen de esas imágenes permite identificar las zonas donde se emite más luz y aquellas en las cuales aún es posible encontrar cielos oscuros, condición que debería ser conservada por su importancia desde el punto de vista astronómico y de biodiversidad.

La siguiente serie de indicadores busca evaluar el estado de la contaminación lumínica en Chile, especialmente sobre los observatorios astronómicos y en áreas silvestres protegidas, junto con un análisis específico de la situación de la golondrina de mar negra.

Finalmente, se presentan indicadores asociados a la norma de emisión vigente (decreto supremo 43 del año 2012, del Ministerio del Medio Ambiente), en relación con el control que se lleva a cabo en la certificación de luminarias y la fiscalización efectuada por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Figura 3. Mapa de contaminación lumínica zona centro, 2019



Fuente: Elaboración propia con datos de National Aeronautics and Space Administration (NASA), utilizando la Metodología Light pollution Map, 2020.

2.1. Estado de los cielos para la observación astronómica

Los observatorios astronómicos presentes en Chile se pueden clasificar por tipo y público objetivo. La clasificación por tipo diferencia según el sistema de captación de información espacial que utilicen, ya sea óptico/infrarrojo o radiofrecuencia. El infrarrojo y la radiofrecuencia no se ven afectados por la contaminación lumínica visible.

Respecto del usuario, los observatorios se pueden clasificar de acuerdo a su misión y segmento al están dirigidos: científicos, turísticos o docentes (**Tabla 2**).

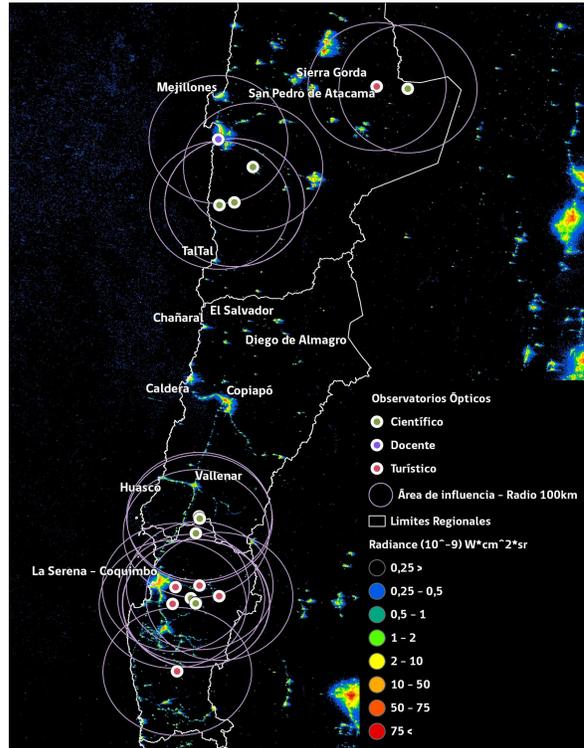
Tabla 2. Observatorios presentes en Chile

NOMBRE	TIPO	CLASIFICACION
Observatorio Cerro Paranal	Óptico/Infrarrojo	Científico
Observatorio Gemini Sur	Óptico/Infrarrojo	Científico
Observatorio La Silla	Óptico/Infrarrojo	Científico
Observatorio Las Campanas	Óptico/Infrarrojo	Científico
Observatorio Interamericano Cerro Tololo	Óptico/Infrarrojo	Científico
Telescopio Southern Astrophysical Research (SOAR)	Óptico/Infrarrojo	Científico
Large Synoptic Survey Telescope (LSST)	Óptico/Infrarrojo	Científico
Tokio Atacama Observatory (TAO) Cerro Chajnantor Atacama	Óptico/Infrarrojo	Científico
APEX	Radio	Científico
ALMA	Radio	Científico
Cerro Chajnantor	Radio	Científico
Proyecto ASTE	Radio	Científico
Proyecto NANTEN 2	Radio	Científico
Proyecto ACT Atacama Cosmology Telescope	Radio	Científico
Proyecto CCAT	Radio	Científico
Observatorio Cerro Armazones	Óptico/Infrarrojo	Docente
Observatorio Mamalluca	Óptico/Infrarrojo	Turístico
Observatorio Nayra	Óptico/Infrarrojo	Docente
Observatorio Ckoirama	Óptico/Infrarrojo	Científico

El radio de afectación de un observatorio astronómico puede llegar a unos 100 km a partir de la ubicación del telescopio (Martinez M, 2019). Por esto, se debe realizar un control efectivo de la contaminación lumínica y especialmente de la luz azul dentro de dicho radio.

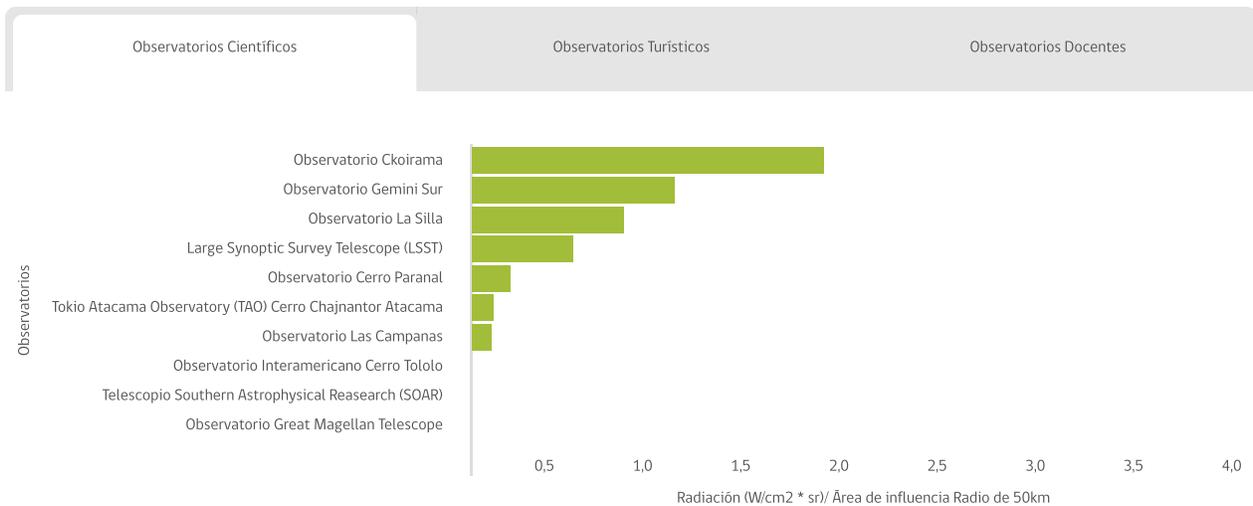
Este indicador permite evaluar la magnitud del impacto de la contaminación lumínica sobre los proyectos astronómicos instalados en el país y aquellos en construcción y que verán su primera luz durante esta década. A partir de ellos es posible realizar un control efectivo de la contaminación lumínica, especialmente del componente azul existente dentro de dicho radio.

Figura 4. Mapa de contaminación lumínica y presencia de observatorios ópticos, 2019



Fuente: Elaboración propia con datos de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2019

Figura 5. Estadística de contaminación lumínica presente en área de Observatorios Ópticos / Infrarrojos



[Download data](#)

Fuente: Elaboración propia con datos de National Aeronautics and Space Administration (NASA) y Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2019.

2.2. Estado del impacto en biodiversidad en Chile

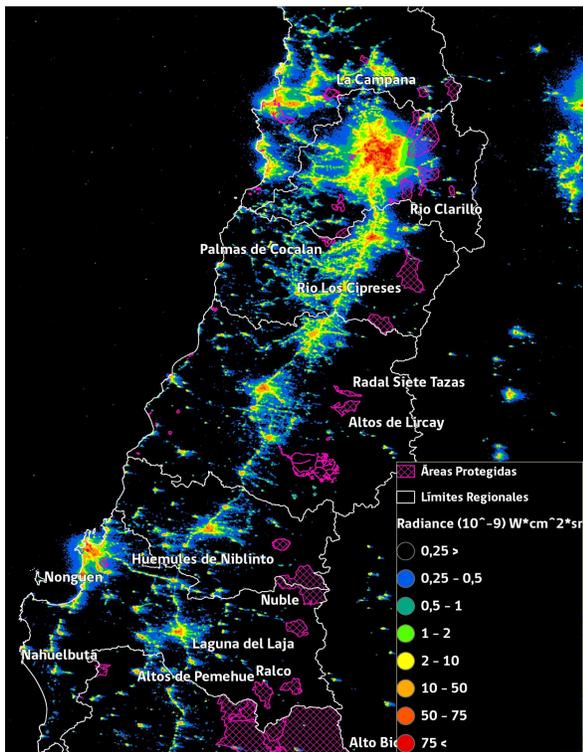
2.2.1. Estado de áreas silvestres protegidas

Las áreas silvestres protegidas bajo alguna figura oficial como reserva o parque nacional son espacios que buscan resguardar la importante biodiversidad que albergan. La luminosidad artificial proveniente de centros poblados es un gran problema para estos lugares debido a que el brillo del cielo puede llegar a cubrirlos prácticamente por completo.

Muchas veces, estas áreas poseen cielos oscuros únicos que, además de ofrecer condiciones inmejorables para la vida nocturna de las especies, también son destinos astroturísticos.

Mediante el análisis de las capas de contaminación lumínica sobre las áreas silvestres protegidas es posible determinar cuán impactado se encuentra su cielo nocturno, de manera de gestionar una solución enfocada en estos espacios directamente o en aquellos que los circundan, que permita ponerlos en valor, dados sus excepcionales atributos para el desarrollo del astroturismo, la astrofotografía y la investigación de los cielos oscuros.

Figura 6. Mapa de contaminación lumínica en áreas protegidas, 2019



Fuente: Elaboración propia con datos de National Aeronautics and Space Administration (NASA) y del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2019.

Figura 7. Contaminación lumínica presente en áreas protegidas, 2019



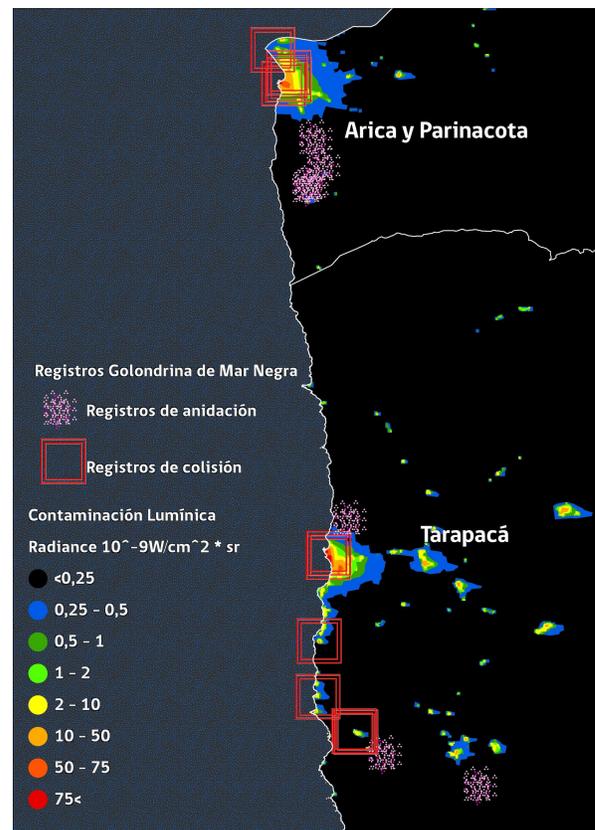
[Download data](#)

Fuente: Elaboración propia con datos de National Aeronautics and Space Administration (NASA) y del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2019.

2.2.2. Impactos en la biodiversidad, caso golondrina de mar negra

En Chile, los impactos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad que están más documentados se relacionan con aves marinas, sobre todo especies que utilizan la luz de las estrellas y cuerpos celestes para ubicarse durante la migración y que son confundidas por la luz artificial de las ciudades. Sin embargo, en el mundo se tienen registros de impactos en tortugas marinas, como los recogidos por el Departamento de Medio Ambiente y Energía de Australia (Australian Government, Department of the Environment and Energy, 2020), lo mismo que en insectos como luciérnagas y polillas, tan relevantes en la polinización como las abejas. Incluso se ha llegado a considerar que el suelo marino podría estar contaminado lumínicamente a causa de las luces de ciudades costeras (Davies, 2020).

Figura 8. Mapa migración de la *Oceanodroma markhami*: Golondrina de Mar Negra v/s Contaminación lumínica



Fuente: Elaboración propia con datos de National Aeronautics and Space Administration (NASA) y E-Bird, 2019.

Se estima que al menos 17 especies de aves marinas podrían verse directamente afectadas por la contaminación lumínica en el país (Silva, Medrano, & Tejada, 2020). Particularmente, en el caso de la golondrina de mar negra (*Oceanodroma markhami*) se ha reconocido que este contaminante es la amenaza de mayor importancia para la conservación de la especie, considerada “en peligro” por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2018) y (ROC, 2019). Esta ave marina migratoria anida en el desierto de Atacama y pone solo un huevo por temporada.

Cuando los especímenes más jóvenes alcanzan la etapa de volantones emprenden vuelo fuera del nido, encontrándose con la luz de ciudades, como ocurre especialmente en Iquique, lo que las atrae y confunde, ocasionándoles la muerte.

Los impactos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad están siendo manejados en Chile mediante instrumentos de gestión específicos, denominados planes RECOGE, del Ministerio del Medio Ambiente, los cuales se detallan más adelante.

La Golondrina de Mar Negra (*Oceanodroma Markhami*), es un ave marina migratoria que anida en el desierto de Atacama y que pone sólo un huevo por temporada. Cuando los especímenes más jóvenes alcanzan la etapa de volantones, emprenden sus primeros vuelos fuera del nido, encontrándose con la luz de ciudades, lo que en muchos casos les significa la muerte. (Fuente: (Silva, Medrano, & Tejada, 2020)



2.3. Estado de cumplimiento de la norma lumínica

A través de la regulación, en Chile se buscó controlar la emisión de luz azul, especialmente de las luminarias LED, que ingresaron con fuerza en el país a partir del año 2010, favorecidas por las políticas de eficiencia energética y el programa de recambio masivo de luminarias (Ministerio de Energía, 2018).

La norma de emisión vigente, decreto supremo 43 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, estableció mayores exigencias para el alumbrado de exteriores, incluyendo, además, los avisos y letreros luminosos, así como las pantallas LED de gran formato para publicidad.

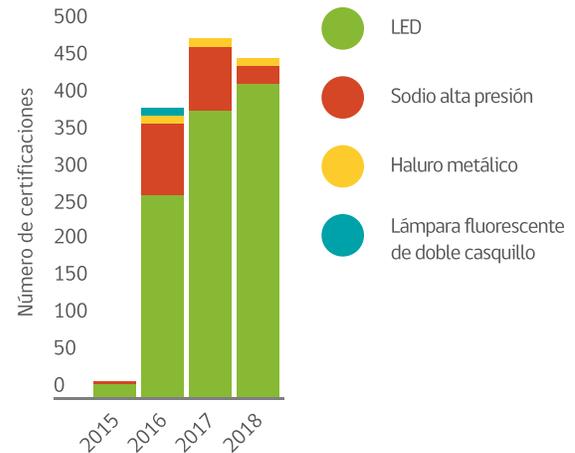
En 2019, la Superintendencia del Medio Ambiente puso en marcha un Programa de Regularización de Instalaciones de Alumbrado, destinado a regularizar instalaciones existentes que aún no habían sido recambiadas dentro del plazo de cinco años otorgado por la norma (SMA, 2019). La iniciativa ha permitido que titulares de alumbrado de exteriores -municipios, industrias y recintos deportivos, entre otros- puedan extender la vida útil de las luminarias si se verifica el cumplimiento de la norma, o proceder a su recambio en caso contrario. El proceso se encuentra en desarrollo y tiene como plazo final el 4 de mayo de 2021.



2.3.1. Control: Certificación de luminarias

De acuerdo con el decreto supremo 43/2012, las luminarias que se instalen en las zonas reguladas -regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo- deben contar con certificaciones aprobadas por laboratorios autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). En el período 2015-2018 se puede apreciar una predominancia de la certificación en tecnología LED, la que llegó el último año a representar 92% del total de 426 certificaciones otorgadas (**Figura 9**).

Figura 9. Certificaciones otorgadas según tipo de tecnología de luminarias, 2015-2018



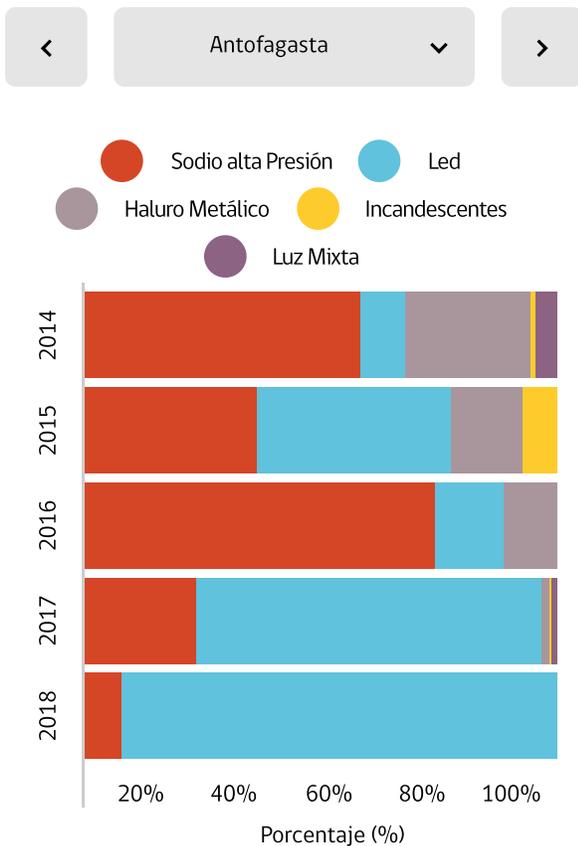
[Download data](#)

Fuente: Elaboración propia, con datos de Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) 2018.



En 2018, el número de luminarias nuevas instaladas en las tres regiones reguladas por la norma lumínica (Antofagasta, Atacama y Coquimbo), alcanzaron un total de 7.699, ocupando la tecnología LED la mayor participación (87%) en reemplazo de la tecnología Sodio de Alta Presión (11,5%) y otras como Haluro Metálico (1,5%). Asimismo, durante ese año la Región de Coquimbo concentró el 59% de las luminarias nuevas, el 82% de las cuales fueron LED. (Figura 10).

Figura 10. Luminarias nuevas en las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo, según tecnología, 2014-2018

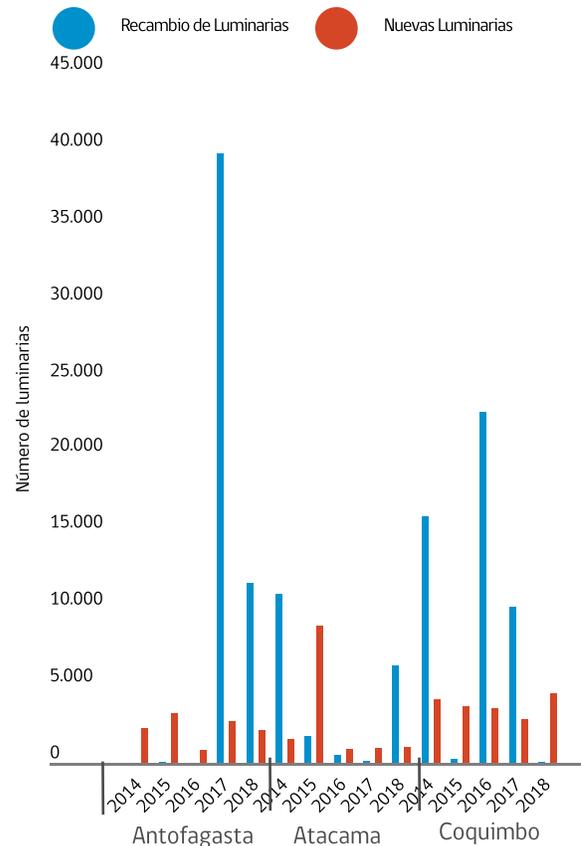


[Download data](#)

Fuente: Elaboración propia, con datos de Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC.) 2018.

En 2018 el número de total de luminarias que se recambiaron, sumadas a las nuevas instalaciones en las tres regiones reguladas por la norma lumínica (Antofagasta, Atacama y Coquimbo), alcanzaron un total de 25.731, el 70% de las cuales correspondieron a recambios. Durante ese año, la Región de Antofagasta concentró el 54% del total de recambios en las tres regiones. (Figura 11).

Figura 11. Recambio y luminarias nuevas en las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo, según tecnología, 2014-2018



[Download data](#)

Fuente: Elaboración propia, con datos de Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC.) 2018.

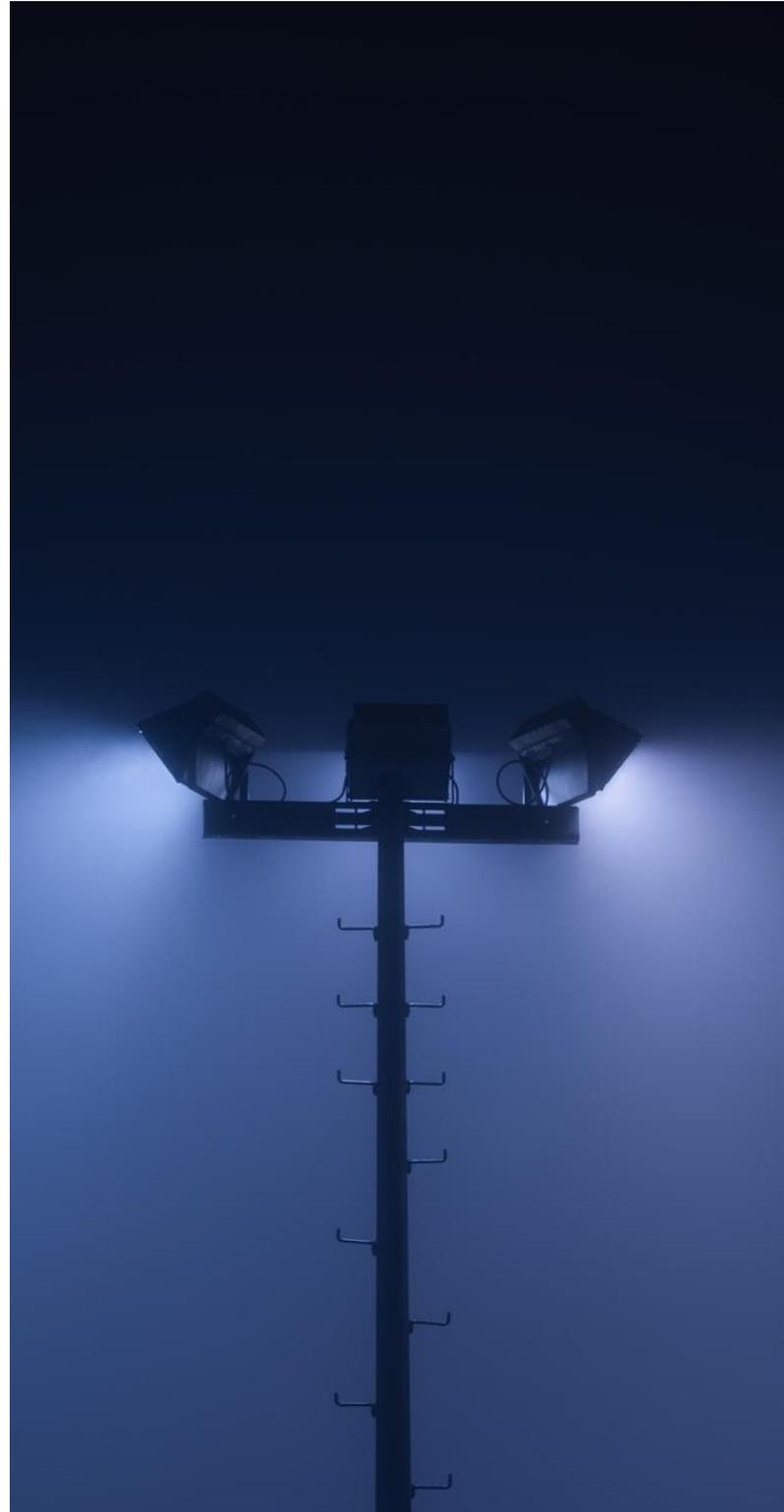
2.3.2. Fiscalización

La Superintendencia del Medio Ambiente ha ejecutado, desde el año 2016, alrededor de 100 actividades de fiscalización de cumplimiento de la norma lumínica (SMA, 2016-2019). Estas se han centrado en alumbrados cuyos titulares son municipalidades –alumbrados de tipo funcional, ambiental, ornamental y decorativo, deportivo y recreacional- y alumbrados de recintos deportivos, los que han sido identificados como contaminantes por su alto nivel de iluminación, la disposición de las luminarias y su color blanco frío, con un gran contenido de luz azul.

Los procedimientos sancionatorios por incumplimiento han sido iniciados en contra de municipios, centros comerciales y recintos deportivos.



La norma lumínica aplica, por ejemplo, a los proyectores de Área utilizados como alumbrado deportivo para la iluminación de canchas en la región de Coquimbo, (Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente).



3. Hacia donde vamos: El uso sostenible de la luz artificial

3.1.1. Estrategia para el control de la contaminación lumínica: Uso sostenible de la luz

La contaminación lumínica se origina en la perspectiva unidimensional con que se ha considerado la iluminación por mucho tiempo. Al tener en cuenta sólo el ahorro energético, no se reconocen ni controlan los impactos de la luz.

En este contexto surge el uso sostenible de la luz, como guía para una mejor utilización de la energía en iluminación y a la vez responsable con el medio ambiente, reduciendo sus impactos en la observación astronómica, en la salud humana y en la biodiversidad.

El uso sostenible de la luz ha sido puesto en el centro de la estrategia para abordar la contaminación lumínica que impulsa el Ministerio del Medio Ambiente, a través de su Departamento de Ruido, Lumínica y Olores.

La estrategia tiene cinco componentes: información, regulaciones, fortalecimiento institucional, coordinación intersectorial, y difusión y capacitación. La relevancia de estas últimas ha hecho que se aborden con actividades de difusión, disposición pública de información y campañas para concientizar acerca del uso sostenible de la luz. Además, se ha puesto a disposición de la comunidad un sitio web (luminica.mma.gob.cl) donde es posible acceder a toda la información que maneja el Ministerio del Medio Ambiente en relación con la problemática. Esto, en el entendido que el desconocimiento de las causas de la contaminación lumínica, sus impactos y soluciones puede influir en la implementación de las regulaciones, guías y recomendaciones.



Campaña por el Día Internacional de la Luz 2020, para concientizar acerca del uso sostenible de la luz y divulgar las recomendaciones internacionales al respecto.

Contaminación Lumínica

Desde el **Ministerio del Medio Ambiente**, nos sumamos a las recomendaciones de la **International Dark Sky Association** y la **Illuminating Engineering Society**:



Toda iluminación debe tener un **propósito claro**.



La luz debe ser usada sólo **cuando es útil**.



La luz debe ser dirigida **solo donde es necesaria**.



Usa **colores cálidos** cuando sea posible



La luz no debe ser más **brillante de lo necesario**.

Más información en luminica.mma.gob.cl



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente.

3.1.2. Revisión de la norma lumínica

Frente a los antecedentes sobre impactos de la contaminación lumínica, así como el aumento de esta por la introducción de luz blanca fría, se determinó realizar una revisión anticipada de la norma de emisión vigente. En el marco de este proceso se ha propuesto al comité operativo:

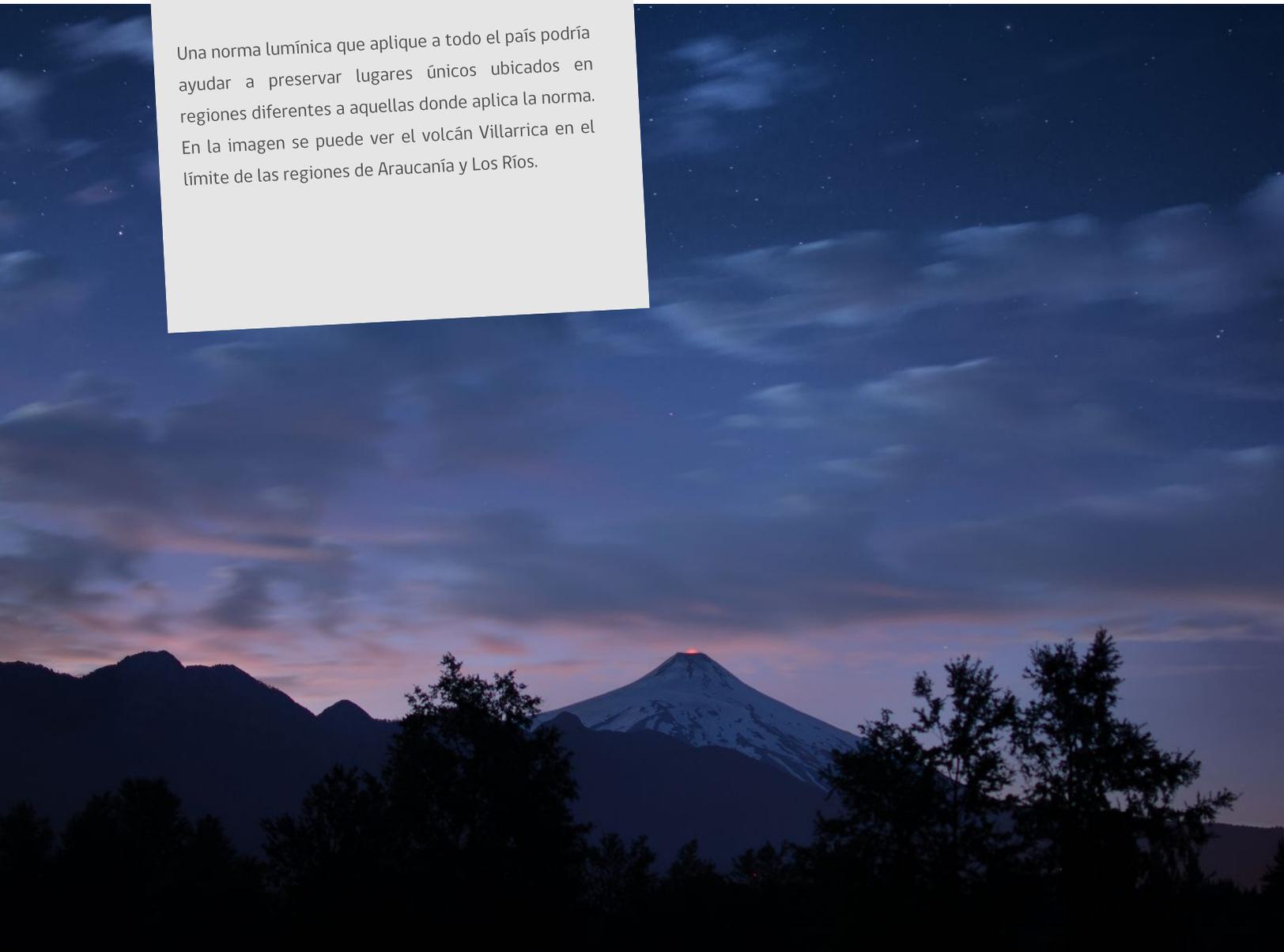
Se espera que este perfeccionamiento permita proteger no solo los cielos para la observación astronómica, sino que también a la biodiversidad del país, mejorar la calidad de vida de las personas y avanzar hacia un estándar de iluminación sostenible.

Extender a todo el país el alcance territorial de la actual norma. Esta ampliación permitiría que otras regiones cuenten con límites a la emisión.

Establecer exigencias diferenciadas para las áreas de protección astronómica, que serán designadas por el Ministerio de Ciencia, en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente y áreas silvestres protegidas, respecto del resto del país.

Mejorar el control preventivo de la norma.

Una norma lumínica que aplique a todo el país podría ayudar a preservar lugares únicos ubicados en regiones diferentes a aquellas donde aplica la norma. En la imagen se puede ver el volcán Villarrica en el límite de las regiones de Araucanía y Los Ríos.



3.1.3. Mesa de Coordinación para el control de la contaminación lumínica

Dada la necesidad de coordinar las acciones de servicios públicos y actores interesados en resolver el problema de la contaminación lumínica, se creó una mesa de coordinación multisectorial para el control de la contaminación lumínica.

La mesa está compuesta por servicios públicos como la Superintendencia del Medio Ambiente, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, el Servicio de Evaluación Ambiental, la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo y los ministerios de Energía, de Ciencia, de Obras Públicas y de Relaciones Exteriores. La integran también organizaciones del mundo astronómico, como la Oficina de Protección de la Calidad de los Cielos del Norte de Chile (OPCC), que representa a los consorcios astronómicos presentes en Chile, la Sociedad Chilena de Astronomía y la Fundación Cielos de Chile.

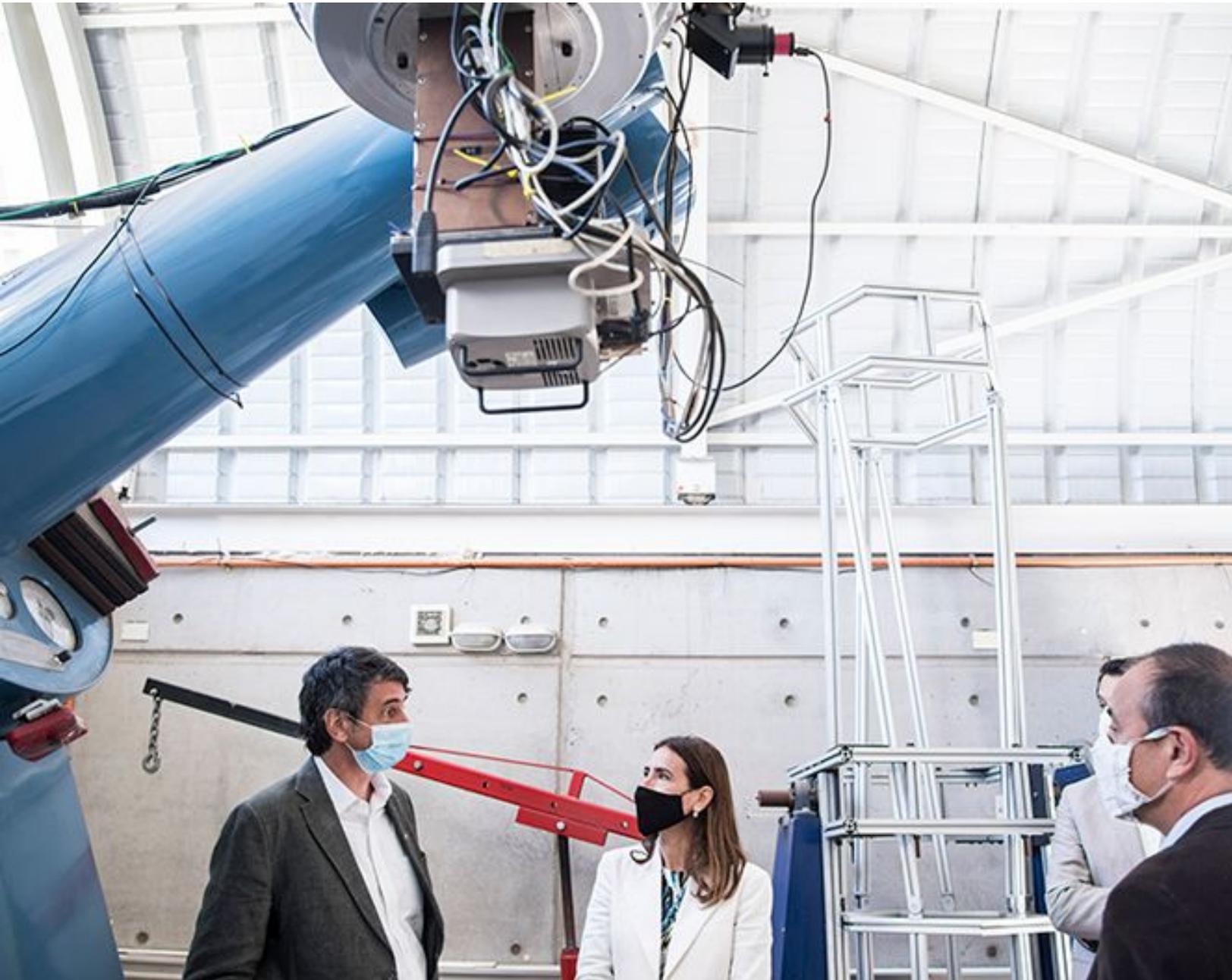
Entre las actividades llevadas a cabo destacan talleres para la difusión de la problemática y sus soluciones, enfocados en los regulados por la norma lumínica, y un seminario enmarcado en el Día Internacional de la Luz. En cuanto al fortalecimiento del marco regulatorio, se ha buscado coordinar la participación en la mejora de instrumentos, como los reglamentos de alumbrado público y la norma de emisión sobre contaminación lumínica, ambos en proceso de revisión.



3.1.4. Declaración de áreas con valor científico y de investigación para la observación astronómica

En julio de 2019 se publicó la ley 21.162, que modificó la ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. La normativa contempla la creación de “áreas con valor científico y de investigación para la observación astronómica”, dictadas a propuesta del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, y del Ministerio del Medio Ambiente.

El objetivo de esta legislación es reconocer el valor que poseen los cielos del norte de Chile para el desarrollo de la astronomía, junto con brindar una protección especial frente a la contaminación lumínica a los centros de observación astronómica en operación y en construcción por medio de la futura norma lumínica. Actualmente se trabaja en la definición de estas áreas, en paralelo con la revisión de la norma lumínica.



3.1.5. Planes de Recuperación, Conservación y Gestión de Especies (RECOGE)

El año 2010, a través de la ley 20.417, se crearon los Planes de Recuperación, Conservación y Gestión de Especies (Recoge) para aquellas especies clasificadas según el Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres. Entre las características de estos planes sobresale la coordinación de diversos servicios públicos y actores de la sociedad civil, para alinearse frente a un mismo objetivo: proteger a las especies de las amenazas que se identifiquen mediante acciones directas, como el uso de mejores tecnologías, o indirectas, como la difusión del problema a la comunidad.

En el extenso listado de Planes Recoge para diversas especies, actualmente se trabaja en dos vinculados estrechamente con la reducción del impacto de la

contaminación lumínica en aves migratorias: el de la fardela blanca (*Ardenna creatopus*), que habita el archipiélago de Juan Fernández e isla Mocha en su época reproductiva, y el de la golondrina de mar negra (*Oceanodroma markhami*), que se extiende por las costas de las regiones de Arica a Coquimbo.

El plan de la fardela blanca se encuentra en etapa de consulta pública, proceso por medio del cual se busca captar las observaciones de la ciudadanía, mientras que el plan de la golondrina de mar negra está en elaboración. Se espera que, una vez aprobados, las acciones contempladas en ambos instrumentos puedan reducir el impacto lumínico en las especies mencionadas.

CONAF - Juan Fernandez



Referencias

- Alejandro Sanchez de Miguel, C. C. (2020). The nature of the diffuse light near cities detected in nighttime satellite imagery. *Sci Rep*. Obtenido de <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64673-2>
- Australian Government, Department of the Environment and Energy. (2020). National Light Pollution Guidelines of Wildlife, Including Marine Turtle, Seabirds and Migratory Shorebirds.
- Barentine, J. (2019). Methods for Assessment and Monitoring of Light Pollution around Ecologically Sensitive Sites. *J. Imaging* 5. doi:<https://doi.org/10.3390/jimaging5050054>
- Berenguer, J. &. (1986). El río Loa, el arte rupestre de Taira y el mito de Yakana. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*, 79-99.
- *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*. (1986). 79-99.
- Chang, A. A. (2014). Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *PNAS* 112(4). doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.1418490112>
- Christian B. Luginbuhl, C. E. (2009). Lighting and Astronomy. *Physics Today*, 12, 32, 62.
- Davies, T. M. (2020). Biologically important artificial light at night on the seafloor. *Scientific Report* 10, 12545. Obtenido de https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/05/f34/2017_led-impact-sky-glow.pdf
- Declaración de la Palma. (19-20 de Abril de 2007). Declaración sobre la defensa del cielo nocturno y el derecho a la luz de las estrellas. La Palma. Obtenido de https://fundacionstarlight.org/es/cmsAdmin/uploads/o_1cgtpq1m31cfe1olgv4nl8l1iosafdf
- Edwards, A. d. (2018). Consolidation of the Rapanui Astronomy Concept Inventory and Re-Appraisal of Applied Astronomic Observation a Papa Ui Hetu'u Rapa Nui. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*.
- Falchi, F. e. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances* 2(6). doi:10.1126/sciadv.1600377
- Grubisic, M. e. (2019). Light Pollution, Circadian Photoreception and Melatonin in Vertebrates. *Sustainability* 11(22). doi:<https://doi.org/10.3390/su11226400>
- IDA. (mayo de 2018). Tucson, Arizona, U.S. Skyglow Reduced 7% after Street Light Conversion. Obtenido de International dark-sky association: <https://www.darksky.org/tucson-arizona-u-s-skyglow-reduced-7-after-street-light-conversion/>
- Institution of Lighting Professionals. (2020). Guidance notes for the reduction of obstrusive light. Reino Unido.
- Kraus, L. (2016). Human and Environmental Effects of Light Emitting Diode (LED) Community Lighting. Report of the Council on Science and Public Health, American Medical Association (AMA). Obtenido de <https://www.ama-assn.org/councils/council-science-public-health/public-health-csaph-reports>

- Kyba, C. e. (2016). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and exten. *Science Advances* 3(11). doi:<https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>
- Luginbuhl, C. W. (2009). Lighting and Astronomy. *Physics Today* 62. doi:<https://doi.org/10.1063/1.3273014>
- Martínez M, S. P. (2019). Justificación Restricción Espectral y Zonal Proceso Revisión DS N°43/2012 del Ministerio del Medio Ambiente. Obtenido de http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/e8e_Justificacion_restriccion_espectral_y_zonal_proceso_revision_DS0432012_MMA__OPCC_.pdf
- Ministerio de Energía. (2018). Informe final del Programa Recambio de Alumbrado Público. Obtenido de https://www.dipres.gob.cl/597/articles-177362_informe_final.pdf
- MMA. (2018). Ficha Golondrina de mar negra, *Oceanodroma markhami*. Decimocuarto proceso de clasificación de especies (2017-2018). Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente: http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/fichas14proceso/Oceanodroma_markhami_14RCE_INICIO.pdf
- Pozo, G. C. (2014). *Wenumapu: Astronomía y Cosmología Mapuche*. Santiago: Ocho Libros Editores.
- ROC. (29 de marzo de 2019). Veinte mil golondrinas de mar negra caerán en Iquique durante abril. Obtenido de Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile: <https://www.redobservadores.cl/?p=2936>
- Rol, M. A. (2011). El lado oscuro de la luz: efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana. *Física y Sociedad* N°21. Obtenido de https://www.cofis.es/pdf/fys/fys21/fys21_completo.pdf
- Schulte-Römer, N. J. (2019). The Led Paradox: How the Light Pollution Challenges Experts to Reconsider Sustainable Lightning. *Sustainability* 11(21). doi:<https://doi.org/10.3390/su11216160>
- Silva, R., Medrano, F., & Tejada, I. (2020). Evaluación del impacto de la contaminación lumínica sobre las aves marinas en Chile: Diagnóstico y propuesta. *Ornitología Neotropical* 31(1). Obtenido de <https://journals.sfu.ca/ornneo/index.php/ornneo/article/view/575>
- SMA. (2016-2019). Informes anuales de cumplimiento de la norma lumínica. Obtenido de Superintendencia del Medio Ambiente.
- SMA. (2019). Resolución exenta 434. Establece normas e instrucciones de carácter general sobre la forma y modo de regularización de fuentes emisoras que indica, en el marco del cumplimiento de la norma de emisión para la regulación de la contaminación lumínica. Obtenido de Superintendencia del Medio Ambiente: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1130268>
- Thomas Wynter Davies, D. M. (2020). Biologically important artificial light at night on the seafloor. *Sci Rep*.
- U.S. Department of Energy. (2017). *An Investigation of LED Street Lightning's Impact on Sky Glow*.