

Contaminación Lumínica: una mirada global

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez
Editor & Compilador



Primera
Edición

Lima
2021

CONTAMINACIÓN
LUMÍNICA
UNA
MIRADA GLOBAL

2021



CONTAMINACIÓN
LUMÍNICA
UNA
MIRADA GLOBAL

2021

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez
EDITOR & COMPILADOR

Contaminación Lumínica, Una Mirada Global

Editor: Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez

Dirección: Calle El Abutillon 3881 - Los Olivos

Correo electrónico: otinocog@gmail.com

Compilador: Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez

Diseño y Redacción: Carlos Alberto Vega Vidal

ISBN: 978-612-00-7205-9

Primera edición digital: Diciembre 2021

ISBN: 978-612-00-7205-9



9 786120 072059

ÍNDICE

	Pág.
<i>Prólogo</i>.....	06
Francisco Javier Wong Cabanillas	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
<i>Introducción</i>.....	08
Oscar Rafael Tinoco Gómez	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
<i>Antecedentes</i>	12
Claudia Carolina León Chávarri	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Percy Roberto Castro Rangel	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Carlos Pedro Saavedra López	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Alfredo Fernando Temoche López	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
<i>Bases teóricas</i>.....	40
Daniel Víctor Surco Salinas	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Víctor Genaro Rosales Urbano	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Fredy Vicente Huayta Socatanype	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
<i>Instrumentos de medición de la contaminación lumínica</i>.....	65
Juan Diego Erazo Rodríguez	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Manuel Antonio Flores Izquierdo	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Rocío Del Pilar Solís Pillaca	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Raúl Alberto Nakandakare Aparicio	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
<i>Normativa de la contaminación lumínica</i>	79
Gustavo Adolfo Montoya Cárdenas	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Cesar Augusto Reyes Gutiérrez	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
José Luis Pita Espinoza	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
<i>Certificaciones relacionadas y desafíos de la industria lumínica</i>	91
María Elizabeth Puelles Bulnes	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	
Oscar Rafael Tinoco Gómez	
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	

Prólogo

La civilización moderna, como la conocemos ha conquistado a la naturaleza y la ha transformado a su antojo, modificando el paisaje natural para construir ciudades, campos de cultivo, etc., de la mano con la creación de nuevas tecnologías energéticas basadas en la explotación excesiva de los combustibles fósiles para poder satisfacer las necesidades poblacionales de energía y alimentación en desmedro de la naturaleza que poco a poco está pasando factura al ser humano, al ciudadano para ser más preciso, ya que en su afán de crear una sociedad de “bienestar y desarrollo” para pocos, contamina y destruye su propio ambiente.

En este contexto, el estudio que se presenta en este libro nos muestra un tipo de contaminación poco conocida pero que afecta a todos los habitantes de las grandes ciudades, nos referimos a la contaminación lumínica, que es generada por el uso excesivo e irresponsable de la energía eléctrica en el alumbrado de exteriores, lo que trae como consecuencia desperdicio de energía eléctrica, deslumbramientos en los conductores afectando a la seguridad vial, además, dificulta también el tráfico aéreo y el tráfico marítimo. Este tipo de contaminación en su producción excesiva de energía eléctrica genera residuos contaminantes como el dióxido de carbono o sustancias radiactivas. Otra de las grandes consecuencias de dicha contaminación es que afecta los ciclos biológicos de algunos animales y plantas, sobre todo las aves, generando desorientación y cambios en sus ciclos biológicos. También se alteran los ciclos de sueño de las personas, al filtrarse la luz artificial en las viviendas, lo que genera estrés y fatiga a los habitantes de la ciudad.

Para poder comprender sus orígenes, sus causas, sus efectos, y aportar soluciones técnicas y sociales a este tipo de contaminación el libro nos explica los antecedentes del problema, las bases teóricas para comprender y analizarlo, nos presenta además, los instrumentos de medición de la contaminación lumínica y las normativas que existen a nivel mundial para regularla, y finaliza con una mirada general de las certificaciones relacionadas y los desafíos que enfrenta en la actualidad la industria lumínica.

Esta obra es un esfuerzo de los autores por presentar al público en general su visión sobre este tipo de contaminación que aqueja a las grandes ciudades y que será un problema que si no se soluciona a corto plazo se transformará en un problema endémico de nuestras ciudades. Libro de consulta y lectura obligatoria en estos tiempos.

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas
Lima 10 de noviembre 2021

INTRODUCCIÓN

Por:

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Introducción

Desde los comienzos de la vida en el planeta tierra, la naturaleza configuró ciclos ambientales, entre ellos el día y la noche, los cuales afectan de diferente forma a todos los seres vivos. Las diferencias entre el día y la noche regulan la fisiología de las personas, animales y plantas. Cuando se generan desequilibrios en tal delimitación, se producen desequilibrios en los seres vivos.

La luz natural cumple un papel fundamental para la vida en el planeta tierra; la luz eléctrica se asocia a la iluminación e implica progreso, seguridad, bienestar. Pero, también, puede convertirse en contaminante del medio ambiente, si se orienta a lugares en donde no le requiere o se le utiliza en cantidad superior a la necesaria.

Para enfrentar la oscuridad de la noche, el ser humano, de generación en generación, fue encontrando, e innovando, elementos para lograr iluminar: el fuego, lámparas de aceite, velas, etc, hasta que apareció un invento formidable: la bombilla eléctrica. En 1879 Tomas Édison fue quien iluminó por primera vez las calles de New York: desde entonces, las actividades laborales y culturales encontraron espacio en horario nocturno, puesto que se generaron nuevos horarios, para desempeñar actividades que antes, por falta de electricidad, no se podían realizar, y esto determinó la generación de ingresos a la economía familiar y por consiguiente a la sociedad (Duranton & Puga, 2003). Al respecto, según la Asociación Internacional por un Cielo oscuro (IDA), el cerco luminoso de la ciudad de Los Ángeles (EEUU) se puede ver desde una avioneta a 200 millas de distancia.

Las bombillas a electricidad cumplieron un papel positivo en esta historia, pero presentaban un inconveniente: el 85% de la energía eléctrica se pierde por el calor (filamento incandescente es el principio inherente). Posteriormente surgieron bombillas que utilizaban gas halógeno (yodo) dentro del foco. Con esto se logró que el filamento dure más y la iluminación tenga más calidad, pero no resolvió la pérdida de energía en forma de calor.

Más tarde, aparecieron los fluorescentes en base a gases inertes localizados en un tubo de CFL, el cual manda fotones ultravioleta que reaccionan al recubrimiento del foco y emite luz visible. De esta manera se reduce la pérdida de energía, llegando a una igualdad entre luz y calor. Su vida útil es mucho mayor.

Finalmente, un foco LED, con varios semiconductores que emiten luz cuando se les aplica electricidad. Esta tecnología emplea la mayor cantidad de energía para iluminar, más de la mitad. Si vida útil duplica a la anterior, por lo que su eficiencia es incomparable.

La intensa actividad del marketing orientado a publicidad nocturna, en la última década, va de la mano con los cambios tecnológicos, específicamente al uso de pantallas LCD (Liquid Cristal Display) o pantallas de cristal líquido o LED (Light-Emitting Diode) diodos emisores de luz.

Falchi et al (2016), a propósito del Atlas de la Contaminación Lumínica señalan que, aproximadamente, 83% de la población mundial “experimenta cielos nocturnos con contaminación lumínica, porcentaje que aumenta a más del 99% para la población europea y estadounidense”.

Sin embargo, la contaminación lumínica es una de las consecuencias del uso excesivo e irresponsable de la energía eléctrica en el alumbrado de exteriores. En tal sentido, es necesario darle el uso adecuado (a la luz eléctrica) pues causa daños al medio ambiente y también a nosotros mismos, que puede llegar a causar cáncer y, si no es tratado adecuadamente, trae consigo la muerte, tenemos que controlar la luz directa hacia la atmosfera, y controlando la

luz artificial que nosotros mismos necesitamos para realizar nuestras actividades, porque no está mal hacer uso de la luz eléctrica, lo malo son las malas prácticas que se hacen con él.

La contaminación luminosa no es otra cosa que el brillo del cielo nocturno, provocado por la difusión de la luz eléctrica, el resultado de esto es que la oscuridad de la noche disminuye y la luz de las estrellas y demás astros de a poco va disminuyendo. La causa de esto es que la luz artificial no tiene pantallas diseñadas correctamente para dar luz donde realmente se necesita, y lo que hace es dispersarla hacia el cielo por encima del nivel del horizonte (Horts, 2020). La contaminación lumínica, es la contaminación producida por las **emisiones de luz** que provienen de fuentes artificiales con altas intensidades, es también el brillo que se ve en el cielo por las noches provocado por la iluminación ineficiente. En lugar de dirigir la luz hacia el suelo, la luz se emite hacia el cielo.

En octubre del 2020 se reunieron 950 expertos de todo el mundo, de manera virtual, en el Taller (en línea) denominado **Cielos oscuros y silenciosos para la ciencia y la sociedad**. En cinco días de intenso trabajo se analizaron las medidas necesarias **“para evitar el posible impacto negativo de las nuevas tecnologías en la observación del cielo nocturno y la biodiversidad”**.

Un reporte preliminar de este evento destaca la existencia de tres tipos de interferencia:

- Luz Artificial Nocturna (ALAN por sus siglas en inglés),
- Emisiones en ondas de radio, y,
- Estelas de satélites de Órbita Terrestre Baja (LEO por sus siglas en inglés).

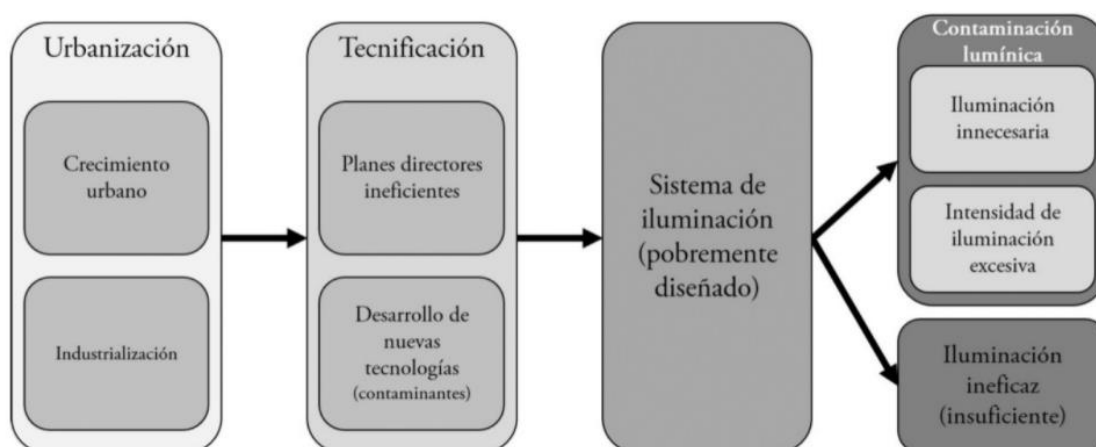
Este Taller fue organizado por la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre (UNOOSA), el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), entre otras instituciones, y con la colaboración de la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos.

La contaminación lumínica está estrechamente relacionada con lo urbano, aunque, recientemente, el desarrollo de las actividades turísticas en horario nocturno, han generado alerta. En el plano urbano, la iluminación artificial constituye un serio problema.

Un claro ejemplo, recientemente la Municipalidad de Lima Metropolitana implementó un registro de elementos de publicidad exterior – EPE (paneles, vallas, entre otros) en cinco zonas urbanas: avenidas Javier Prado, Túpac Amaru y La Marina, segmentos de las carreteras Panamericana Sur y Norte. El resultado del conteo es preocupante: 76% de 1.270 EPE no presentaban autorización.

Por otro lado, Gonzales-Madrugal, et al (2020) esquematizan los riesgos de un sistema de alumbrado público ineficiente:

Figura N°1: Proceso de alumbrado ineficiente a partir de iluminación artificial.



Fuente: Elaboración propia

Es impostergable la realización de campañas de información ciudadana con carácter sensibilizador y didáctico, pues también desde el ámbito individual se puede colaborar a reducir la contaminación lumínica con acciones como: procurar disminuir el gasto eléctrico en las viviendas utilizando electrodomésticos de bajo consumo; evitar mantener las luces interiores y exteriores encendidas cuando no sea necesario; utilizar lámparas de bajo consumo. No se trata de obtener una reflexión ambiental colectiva o una abstracta y generalizada conciencia social sobre los problemas medioambientales que de hecho ya existe, sino de conseguir un reto mucho más difícil, como es una concienciación individual que conduzca a cada individuo de forma singularizada y en el quehacer diario a actuar, voluntaria y prácticamente de forma instintiva, de manera correcta y compatible con nuestro entorno natural. Quizá así podamos asegurar a nuestros hijos el disfrute de la belleza de la noche estrellada con toda la magia y cultura consuetudinaria que la envuelve.

En el escenario peruano, el 26 de julio del 2021 se promulgó la Ley N° 31316, Ley de prevención y control de la contaminación lumínica, cuyo ámbito de aplicación comprende:

La iluminación proveniente de actividades deportivas, industriales, productivas y de servicios. Elementos de publicidad exterior (EPE).

El alumbrado de las vías públicas, de conformidad con lo dispuesto por la Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley 25844, y sus normas reglamentarias respectivas.

Esta Ley establece las competencias de las diferentes entidades del aparato estatal:

Ministerios del Ambiente,

Ministerio de Transportes y Comunicaciones,

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA),

Gobiernos regionales,

Gobiernos Locales (municipios provinciales y distritales)

El portal Perúweek, especializado en aspectos legales y ambientales, resume las siguientes restricciones que, en favor del control de la contaminación lumínica, establece la ley 31316:

Se prohíbe la instalación de elementos de publicidad exterior con pantallas LED o electrónicas en zonas residenciales y a menos de 500 metros de áreas verdes, parques, playas, áreas naturales protegidas y ecosistemas frágiles.

En función de horario previstos, a ser definidos en la reglamentación correspondiente, los elementos de publicidad exterior iluminados y luminosos deben estar apagados o inactivos, es decir, sin emitir ningún tipo de luz

Esta restricción no aplica para los elementos de publicidad exterior instalados en las carreteras que forman parte de la red vial nacional, en donde podrán permanecer encendidos durante las 24 horas del día, a excepción de determinados lugares de las vías nacionales en los que, por razones de seguridad vial, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones prohíba su encendido.

Finalmente, en este texto que presentamos, se abordan los antecedentes y las bases teóricas sobre la contaminación lumínica, así como los instrumentos de medición, la normativa y las certificaciones ambientales correspondientes.

Literatura Citada

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C., Elvidge, C. D., Baugh, K., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science advances*, 2(6), e1600377.

González-Madrigal, José, Solano-Lamphar, Héctor, & Ramírez, Manuel. (2020). La contaminación lumínica como aproximación a la planeación urbana de ciudades mexicanas. *EURE* (Santiago), 46(138), 155-174. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612020000200155>

Horts Font, Pere, ¿Quién nos ha robado la vía láctea? El problema de la contaminación lumínica. En: Celfosc (Online). Disponible en: http://astrogea.org/celfosc/contaminacio_luminica.htm

ANTECEDENTES

Por:

Claudia Carolina León Chávarri
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Percy Roberto Castro Rangel
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Alfredo Fernando Temoche López
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Carlos Pedro Saavedra López
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

1. Antecedentes

La historia de la humanidad es una historia de adaptación y cambio. A lo largo del tiempo, los seres humanos han buscado activamente formas de transformar su entorno, aprovechando sus recursos, a fin de lograr una posición más cómoda y con más facilidades para su desarrollo personal y colectivo. Bienes y servicios se han ido produciendo cada vez a mayores escalas con el fin de satisfacer necesidades de crecimiento, en la búsqueda de una mejor calidad de vida.

En nuestra historia, son unos cuantos inventos los que han marcado hitos realmente determinantes para el desarrollo de la humanidad. En particular, como indica Zissis (2020), los humanos tenemos una capacidad de visión nocturna pobre, por lo cual no es extraño que, hace casi 200 años, la invención de la bombilla eléctrica marcara una gran diferencia en la sociedad. La noche dejó de detener nuestros avances, los caminos dejaron de ser oscuros e inseguros, y la luz en medio de la penumbra significó contar con más ambientes para realizar actividades formativas, laborales o recreativas por más tiempo. Su impacto ha sido tan profundo en nuestra forma de vida, que muy probablemente pase casi desapercibido cuánto más iluminadas son las áreas que habitamos (Zielinska-Dabkowska & Xavia, 2019), o cómo damos por descontado en algunas zonas el poder contar con calles iluminadas, carreteras con total visibilidad, habitaciones donde se puede trabajar o estudiar de noche (Bará et al., 2019a), y tener ahora a nuestro alcance la posibilidad de hacer vida nocturna. Hoy en día, el 80% de la población humana vive bajo constante iluminación de su cielo nocturno (Falchi et al., 2016).

Sin embargo, la conquista del hombre sobre la natural oscuridad trae consigo otro tipo de consecuencias. Estudios como los de Falchi et al. (2019), Zielinska-Dabkowska & Xavia (2019) y Mu et al. (2021) llevan a importantes reflexiones sobre cómo en nuestro intento por superar nuestras limitaciones visuales, la luz artificial generada por el hombre en cierto sentido ha terminado por sobre-iluminar los espacios e impactar de maneras peligrosas a las personas mismas y a nuestro entorno en general. Algunos animales silvestres ven sus patrones de comportamiento nocturno alterados, interrumpiendo ciclos y actividades necesarias para su supervivencia. Los humanos llegan a sufrir por falta de sueño al romper sus patrones naturales de descanso, además de sufrir de sensibilidad en la retina, e inclusive se dan efectos mayores como el desarrollo de cáncer. Más aun, es importante recordar que la energía requerida para alimentar los sistemas de iluminación también viene acompañada de una huella ecológica considerable, debido a las emisiones de carbono de los procesos de generación de electricidad. El término contaminación lumínica surge entonces ante la necesidad de dar un nombre a la alteración de los niveles naturales de iluminación nocturna debido a fuentes antropogénicas de iluminación (Falchi et al, 2016), y en reconocimiento del inminente riesgo que representa para la sostenibilidad a escala mundial (Bará et al, 2019a) por sus efectos transformativos y a veces incluso destructivos en las esferas sociales y ecológicas (Chelléat et al., 2021). Así, el estudio de la contaminación lumínica es, en otras palabras, un estudio de las externalidades producto de nuestros propios procesos de desarrollo (Gallaway et al, 2010).

Una vez que empezamos a entender esta cadena de efectos y la amplitud de sus repercusiones, resulta lógico encontrar que investigadores en diferentes áreas del conocimiento humano vengán desplegando esfuerzos por entender los diferentes niveles de impacto de la contaminación lumínica y cómo contrarrestarla (Challéat et al, 2021; Zissis, 2020). Estos fenómenos abarcan aspectos económicos por el uso y desperdicio de los escasos recursos energéticos que son el motor de la actividad humana, así como aspectos sociales en áreas de

estudio evidentes como son las ciencias de la salud y otras no tan directas como los estudios de desarrollo urbano, y por supuesto aspectos medio ambientales relacionados al impacto sobre la biodiversidad, la calidad del aire, el clima, la biósfera (Frank et al, 2018; Horton et al, 2019; Jägerbrand & Bouroussis, 2021).

Para alcanzar un entendimiento integral de los estudios en esta materia, se ha decidido estructurar esta sección de antecedentes tomando en cuenta los tres pilares de la sostenibilidad (económico, social, ambiental), y finalmente explorar los recientes avances tecnológicos que se han gestado con la intención de solucionar esta situación problemática.

1.1. Estudios desde la perspectiva económica:

Económicamente hablando, la iluminación, y por asociación la contaminación lumínica, puede explicarse como el producto de los recursos energéticos necesarios para generarla, así como un flujo fundamental para el despliegue de actividades productivas.

Aunque esta arista de la sostenibilidad es un campo de investigación muy poco explorado, con apenas una decena de publicaciones en los últimos diez años, y equipos investigadores muy especializados liderados principalmente por el italiano Falchi y el estadounidense Gallaway, no es de ninguna manera un estudio poco relevante. Las métricas desarrolladas por estos autores relacionan la iluminación con su uso en función a variables de carácter económico, o su generación medida como consumo de hidrocarburos explotados con fines energéticos.

1.1.1. Valor monetario de la contaminación lumínica

Según Gallaway et al (2010), las deficiencias en los diseños de sistemas de iluminación se traducen en desperdicios de la energía eléctrica producida. Por ello, postularon una primera manera de cuantificar económicamente el impacto de la contaminación lumínica representando la energía desperdiciada según el costo de producción incurrido y en la práctica desaprovechado.

Tomando como base las estadísticas reportadas en el 2005 por la Comisión de Energía de California, los autores destacaron que un tercio de la electricidad utilizada en iluminación de espacios públicos se convierte en contaminación lumínica, lo cual representó para los Estados Unidos más de 70 millones de MWh de electricidad desperdiciada, a un costo de US\$ 6.9 billones anuales (Gallaway et al., 2010). Si se pone en perspectiva estas proporciones, y se toma en cuenta el nivel de desarrollo tecnológico que el país norteamericano detenta en contraste con los sistemas públicos de iluminación disponibles en regiones menos desarrolladas, como la Latinoamericana, es intuitivo creer que hay un impacto económico en la región que necesita ser visibilizado a fin de poder desarrollar políticas públicas y mecanismos técnicos para controlarlo.

Sin embargo, dichas políticas no pueden sustentarse en una simple intuición, y los incentivos para desarrollar tecnologías con un mejor desempeño energético están supeditados a los valores concretos que determinen la viabilidad de tales emprendimientos. Pero realizar esta estimación no es tan sencillo como puede aparentar en un primer momento. Una gran barrera para ejecutar este cálculo radica en la dificultad para distinguir la luz aprovechada o productiva, del subproducto de luz desperdiciada. Aunque estudios como el de Bará et al. (2019b) nos dan modelos matemáticos que pueden usarse para estimar el comportamiento físico de la luz que se pierde y genera contaminación, los mismos investigadores resaltan que actualmente no se cuenta con una base teórica lo suficientemente contundente como para asegurar la precisión de estas estimaciones, ni se han realizado suficientes pruebas en escenarios diversos como para asegurar la universalidad de las fórmulas planteadas hasta el momento. Nos encontramos entonces antes una limitación que demanda la ejecución de

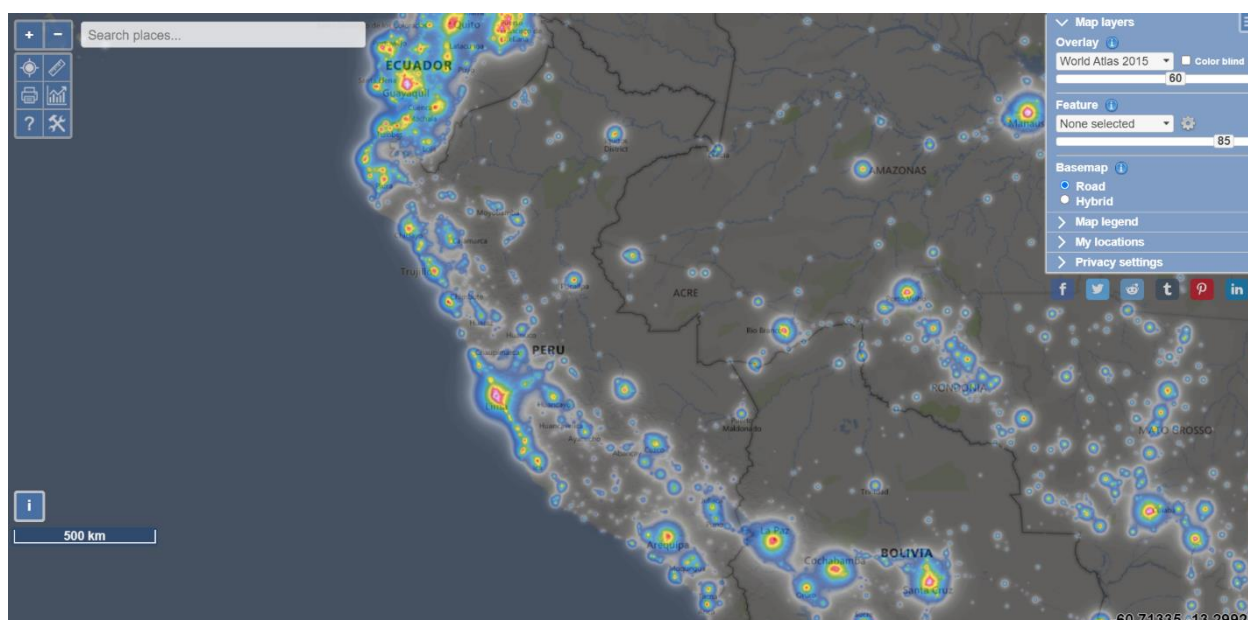
estudios locales para establecer objetivamente la fracción de luz que es contaminante, los cuales solo se han desarrollado en territorio europeo y estadounidense.

1.1.2. Flujo lumínico por unidad de producto bruto interno

Una manera de superar esta dificultad, y a la vez proporcionar un puente entre la valorización económica y las implicancias sociales de este grave problema, es el uso del indicador de flujo lumínico por unidad de PBI (FpD). Falchi et al. (2019) calculan este índice dividiendo el flujo lumínico per cápita (FpC) entre el ingreso per cápita promedio para una determinada región o país. Siendo a su vez el FpC la relación entre el flujo lumínico de una determinada región o país dividido por la población de dicha área.

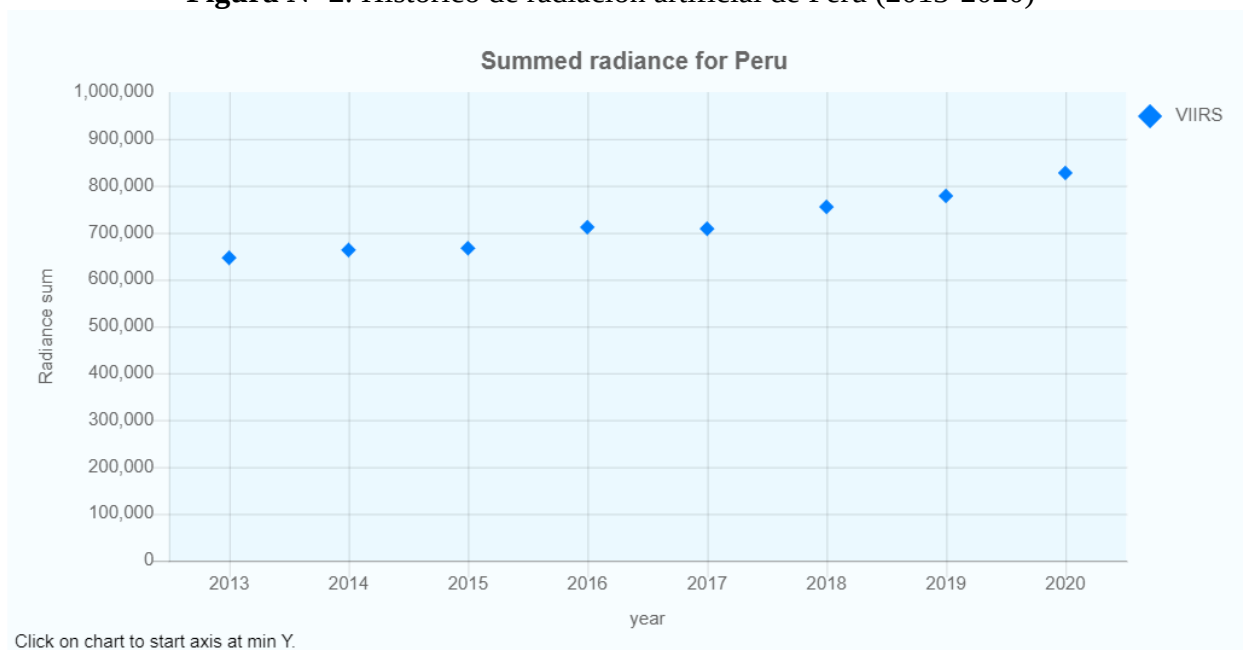
En este modelo, las estadísticas de población y sus niveles de ingreso promedio son fácilmente recuperadas de las organizaciones nacionales de estadística e informática y aparatos de gobierno que administran el desempeño económico del país en estudio, como el Bureau de Censos de los Estados Unidos y la Eurostat. En el Perú esta información podría ser extraída de los reportes públicos del Instituto Nacional de Estadística e Informática.

FiguraN° 1 Mapa mundial de radiación artificial enfocado en Perú (2015)



Fuente: Recopilado del Nuevo Atlas Mundial de Brillo Artificial Nocturno (2021)

Además, y quizás mucho más importante de destacar, es la facilidad de acceso a los valores de la variable asociada a la iluminación. En este modelo se tiene la gran ventaja de poder estimar el flujo lumínico a partir de imágenes satelitales captadas por el sensor VIIRS (ver Figura 1), que está disponible de forma gratuita para países en todo el mundo en la plataforma web del Nuevo Atlas Mundial de Brillo Artificial Nocturno (como se aprecia en la Figura 2).

Figura N° 2: Histórico de radiación artificial de Perú (2013-2020)

Fuente: Recopilado del Nuevo Atlas Mundial de Brillo Artificial Nocturno (2021)

Al analizar los valores del FpD en Europa y Estados Unidos, Falchi et al. (2019) detectaron que el mejor desempeño de esta métrica de eficiencia del recurso lumínico ocurre de forma consistente en regiones no rurales con mayor densidad poblacional, mientras que las regiones con desempeño más bajo no cuentan con una tendencia tan clara, aunque se trata en su mayoría de zonas no urbanas. De estos resultados se puede cuestionar la creencia de que el desarrollo urbano está destinado a generar este problema de sostenibilidad, y postular más bien que el desarrollo ordenado de las ciudades es necesario para hacer más productivo el uso del flujo lumínico, generar bonanza económica, otorgando la deseada mejora de la calidad de vida de las personas.

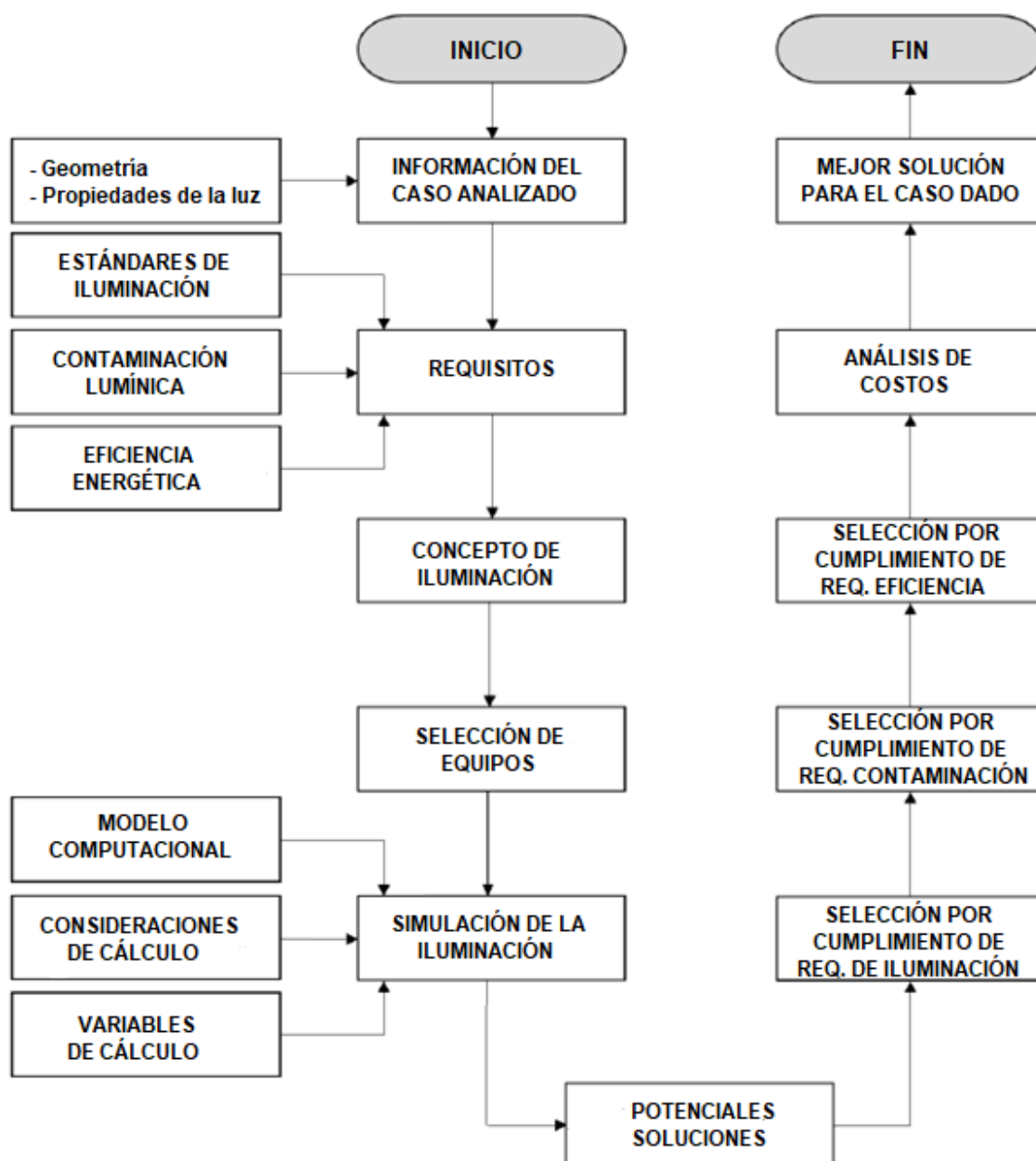
1.2. Estudios desde la perspectiva social:

En el aspecto social, la mayoría de los trabajos revisados se concentra en dos focos de análisis: el desarrollo demográfico y urbano como variable que da origen al uso de fuentes artificiales de iluminación, y los efectos en la salud que devienen de la exposición a la iluminación en exceso.

1.2.1. El crecimiento poblacional y su relación con la contaminación lumínica:

Como bien lo explican González-Madrigal et al. (2020), citando los trabajos de Kocifaj & Solano Lamphar (2013), Mizon (2012) y Solano Lamphar & Kundracik (2014), el fenómeno de la contaminación lumínica se encuentra muy ligado al vertiginoso crecimiento de los espacios urbanos, en la medida en que la luz artificial es utilizada para iluminar las ciudades durante la noche, para hacer posible el desarrollo de actividades durante las horas más avanzadas del día. Esta lectura de las implicancias de la urbanización cobra especial sentido a la luz de lo reportado por Pracki & Skarżyński (2020), quienes destacan la relevancia de la luz como un bien de uso público en las instalaciones de iluminación en espacios abiertos a fin de proporcionar seguridad, eficiencia visual y comodidad para los ciudadanos, que debe ser evaluado sistemáticamente (en la Figura 3 se aprecia modelo propuesto).

Figura N° 3 Esquema conceptual de un algoritmo para la evaluación de iluminación en exteriores



Fuente: Modelo elaborado por Pracki & Skarżyński (2020)

Ambos grupos de autores señalan que la iluminación es necesaria para la viabilidad de una serie de actividades, entre las cuales se menciona actividades generales de trabajo, conducción segura de vehículos y tránsito peatonal, el desarrollo de actividades deportivas, así como aspectos estéticos de la infraestructura de la zona. Es interesante, por tanto, no solo reconocer esta estrecha relación entre la contaminación lumínica y el desarrollo de las ciudades, sino utilizar este conocimiento para integrarlo en políticas públicas y consideraciones de diseño para realizar una planificación y desarrollo urbano más eficiente.

González-Madrigal et al. (2020), por ejemplo, realizaron un análisis geográfico en territorio mexicano para comprender mejor los factores que inciden en esta problemática y generar directrices que puedan aplicarse al desarrollo de políticas ambientales que permitan controlar la contaminación lumínica en dicho país.

Caso N°1: La contaminación lumínica como aproximación a la planeación urbana de ciudades mexicanas

En México existe la preocupación por el cuidado del ambiente a partir de criterios de salud humana y preservación de organismos que habitan su territorio, ejemplificada en las regulaciones en materia de aire, ruido, agua y suelo; sin embargo, poco se ha hecho para regular la iluminación artificial desde lo ambiental, a pesar de que el aumento del uso de la luz artificial nocturna tiene consecuencias negativas en los procesos biológicos de los organismos que quedan expuestos a la sobreexposición. Considerando que la iluminación artificial está relacionada con el crecimiento demográfico y la urbanización, el presente documento examina este fenómeno en el espacio local, y subraya la importancia de establecer una planeación de la iluminación, considerando parámetros locales.

A nivel global, el área de influencia de la iluminación nocturna artificial ha aumentado rápidamente con la expansión urbana experimentada por las ciudades. La utilidad primaria de la luz artificial es mantener iluminadas las ciudades durante la noche, con el objetivo de dar viabilidad a diversas actividades que lo requieren, es por ello que, según el sistema al que se le atribuya, se determinan los criterios para establecer la cantidad de luminosidad necesaria.

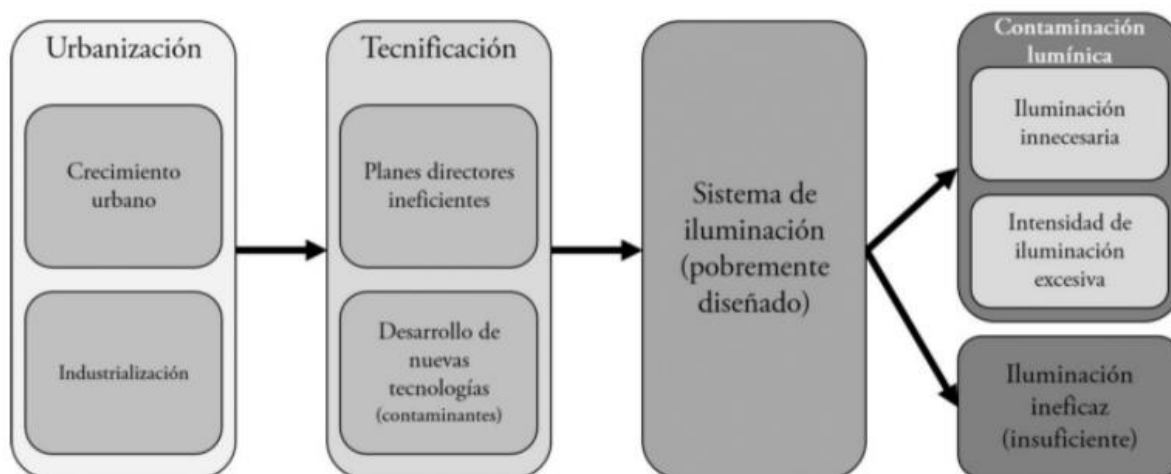
La contaminación lumínica debe entenderse como la diferencia entre la iluminación que se emite, con respecto a la cantidad real que se requiere. En una ciudad, la cantidad de contaminación lumínica generada depende de las acciones de los individuos socializados dentro de la comunidad y de todas las características que influyen en la sociedad, como las actividades económicas y culturales, los hábitos de consumo, la estructura urbana, entre otras, las cuales están determinadas por una estructura institucional que las permite o fomenta.

La cantidad de iluminación emitida no debe entenderse como equivalente a la iluminación requerida; esta no se debe calcular a partir de la regulación e infraestructura existente, sino de las diversas necesidades que una ciudad tiene, ya sea en su industria, su habitabilidad y su ambiente. Para ello, se debe de tomar en cuenta no solo la iluminación que se debe generar, sino aquella que se es capaz de asimilar sin afectar negativamente la existencia, transformación y desarrollo del ser humano y demás seres vivos.

Asumiendo su forma orgánica, una ciudad se ve afectada por la contaminación lumínica de distintas maneras:

- a) Consumo innecesario de energía: la luz enviada a espacios donde no se la necesita, representa un considerable desperdicio de energía.
- b) Gasto ineficiente de recursos públicos: la energía que es desperdiciada se generó utilizando gastos públicos. Por lo tanto, aquella que está siendo mal utilizada representa un gasto económico importante.
- c) Aportación al calentamiento global: toda la energía que se desperdicia gracias a la contaminación lumínica tuvo que generarse antes, lo que produce un aumento indirecto del calentamiento global y de la emisión de gases de efecto invernadero. Al respecto, una cantidad considerable de la electricidad que se produce en México requiere combustibles fósiles.

Así, se debe reconocer que la contaminación lumínica deviene de una aplicación inadecuada de las fuentes de alumbrado, incidiendo de formas no requeridas e inclusive no deseadas sobre las personas y otros organismos vivos que se ven afectados por el diseño deficiente de los sistemas de iluminación (ver Figura 4).

Figura N° 4: Proceso de alumbrado ineficiente a partir de iluminación artificial

Fuente: Modelo elaborado por González-Madrigal et al. (2020)

El análisis presentado muestra la importancia de abordar el problema de la contaminación lumínica desde una perspectiva local, incorporándolo en la agenda urbana, dado que los factores involucrados en la emisión de luz, al igual que la influencia de la misma, se presentan de forma directa tanto en el ambiente como en la biodiversidad animal y vegetal del espacio local. Por las condiciones que se presentan en la actualidad, se requiere una articulación de propuestas de soluciones y acciones concretas que mejoren las condiciones de protección de las especies fotosensibles y los organismos pertenecientes a cualquier área natural protegida; asimismo, resulta indispensable una planeación urbana que contenga criterios en materia de iluminación, para que esta contribuya al crecimiento económico sin causar afectaciones a largo plazo al equilibrio ecológico. En este sentido, se pretende la consolidación de una agenda de investigación que posibilite establecer una base científica sólida en el tema, así como la integración de una perspectiva de políticas públicas al desarrollo urbano que sea más sustentable, a partir de disminuir los problemas ambientales causados por un exceso de iluminación artificial nocturna.

Ahora bien, este primer análisis puede llevar erróneamente a creer que la contaminación lumínica es un asunto que compete solamente a la esfera de la gestión pública. Sin embargo, no se puede desestimar el rol de la iluminación privada en la proliferación de este impacto ambiental.

Un reporte de la OCDE mostró que en el 2005 el alumbrado público y la iluminación de carreteras, por ejemplo, llegaron a representar el 35% de la energía total utilizada a nivel mundial, pero no muy lejos un importante 19% de la energía fue empleada en la iluminación general, categoría en la que se considera a la iluminación interior (Jägerbrand, 2020). No sorprenden estos números, cuando se toma en cuenta que un uso importante de la luz es para hacer posibles actividades como el estudio, el trabajo en oficinas, el comercio, las labores de casa, todo lo cual se realiza en gran proporción en espacios cerrados, y que contribuyen a la contaminación lumínica debido a que la luz una vez emitida se dispersa y filtra a través de cualquier ventana o rendija que no se oponga al paso de la onda lumínica (Bará et al., 2019a). En este ámbito, un trabajo importante ha sido el publicado por García & González (2016), que lleva la discusión sobre la contaminación lumínica al plano privado, específicamente a la luz domiciliaria. En su análisis, reconocen el uso de la luz para dar visibilidad en espacios habitados, siendo los hogares los espacios habitados por excelencia, a lo cual suman un enfoque radical con respecto a la contaminación, resaltando que se trata de toda alteración a la natural oscuridad por fuentes artificiales de iluminación, pues no consideran que haya forma

objetiva de definir su uso en exceso (aunque reconocen que se están realizando esfuerzos para lograrlo).

Citando publicación de la organización Darksky (2015) y un trabajo de García Gil et al. (2012), García & González (2016) nos recuerdan que la luz puede contaminar al tratarse de un elemento físico (radiación electromagnética) que por sus propiedades es difícil de contener y es capaz de traspasar de forma no controlada los espacios. Por lo cual, salvo se realicen esfuerzos conscientes para dirigir sus efectos, la luz puede terminar alumbrando más allá de la zona a la cual se tenía la intención de iluminar, generando efectos adversos sobre la vida silvestre, el balance ecológico y la salud humana.

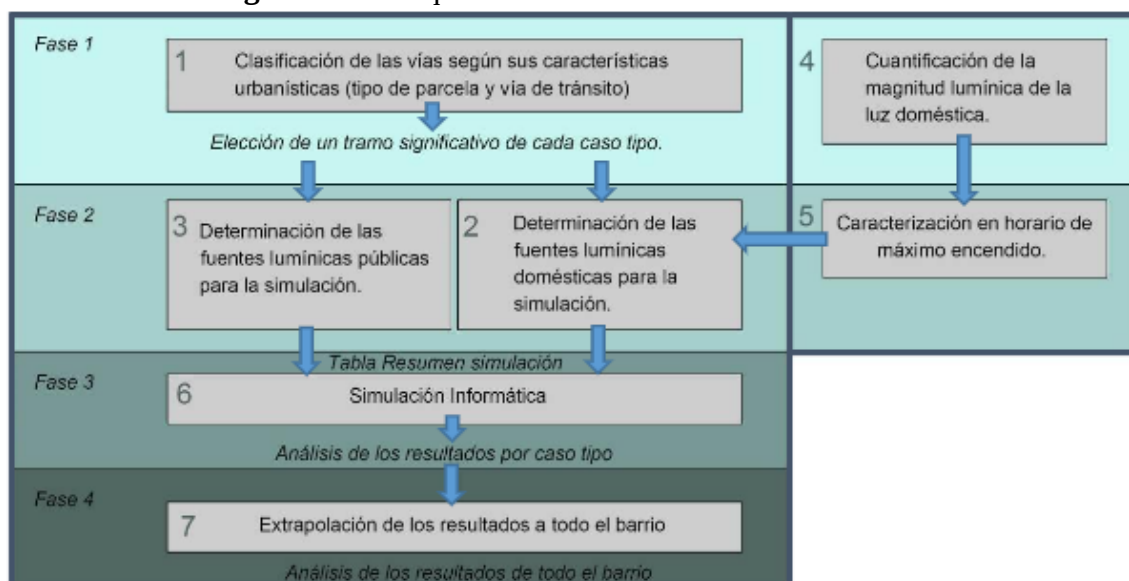
Su investigación resulta en extremo necesaria para integrar el frente doméstico en el análisis y control de la contaminación lumínica, como se detalla en el siguiente resumen.

Caso N°2 : Influencia de la luz privada doméstica sobre la fuente de la contaminación lumínica

Desde el inicio de su estudio más severo, en los años setenta, todos los esfuerzos sobre la contaminación lumínica en la ciudad, se han centrado fundamentalmente en la reducción del flujo contaminante emitido por las luminarias de alumbrado público. Con este se demuestra que la contribución a contaminación lumínica de la luz privada doméstica con respecto a un alumbrado público eficiente es lo alta como para plantear posibles mejoras y soluciones.

La contaminación lumínica es la repercusión del uso de alumbrado artificial, y que altera de forma el natural oscuro, introduciendo en él un elemento físico (radiación electromagnética), por cual diferentes seres vivos se ven afectados y responden en sus acciones y relaciones.

Figura N° 5: Esquema de análisis evaluación zona de estudio



Fuente: Modelo elaborado por García & González (2016)

El presente trabajo presenta una comparación de dos tipologías de fuentes contaminantes: la iluminación de viales (conocida como alumbrado público), y la iluminación de ventanas (conocida como alumbrado doméstico). Su comparación se centra entre los lúmenes que se emiten al cielo. El tratamiento de los datos se ha centrado en el trabajo de campo y la evaluación de un caso concreto: El barrio de Les Corts en Barcelona. En su trabajo se desarrolla una metodología para la evaluación de los espacios interiores iluminados (ver Figura 5) y se han realizado una serie de consideraciones para poder extraer resultados.

La mayoría de los esfuerzos sobre la contaminación lumínica en la ciudad, desde su definición en los años setenta, se han centrado en las luminarias del alumbrado público que recorren las

calles de las ciudades. En el caso analizado, en el barrio de Les Corts de Barcelona, con tan sólo un 13,2% de unidades de luz privada encendidas (ventanas) se ha comprobado que para el barrio se obtiene que del EFS total (2,3 Mlm) un 5% pertenece a fuentes públicas y el otro 5% a fuentes privadas. Dato muy significativo si lo comparamos con la totalidad del flujo emitido en la que un 78% del flujo instalado total pertenece a fuentes públicas y tan sólo un 22% del flujo a las fuentes domésticas.

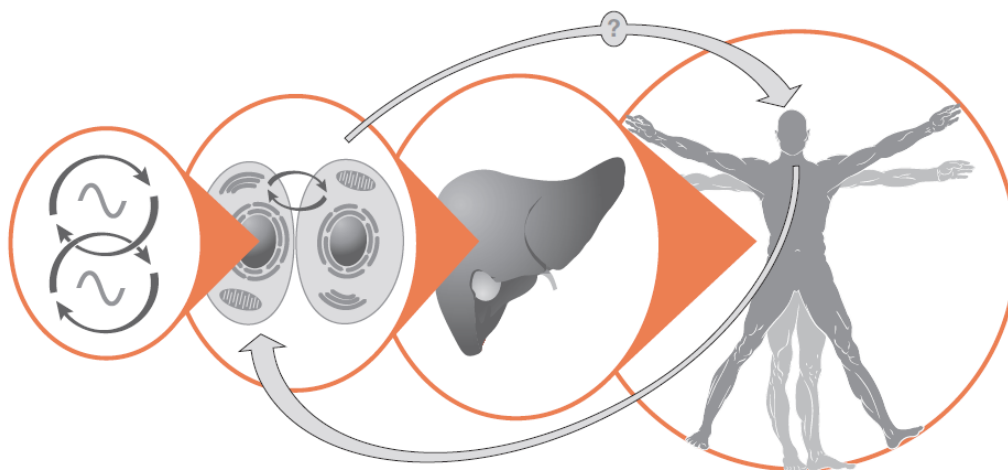
Finalmente concluir remarcando que con este trabajo se pone de manifiesto que la contribución de las fuentes de luz doméstica (ventanas encendidas) a la contaminación lumínica, con respecto a un alumbrado público eficiente, es suficientemente alta como para plantear posibles mejoras y soluciones que ayuden a mantener nuestros cielos limpios.

1.2.2. Estudios sobre los efectos a la salud por el exceso de iluminación:

Como indican Challéat et al. (2021), la luz artificial, especialmente al ser usada en horario nocturno, se considera un factor de riesgo altamente perjudicial para la biodiversidad a nivel mundial, puesto que altera el reloj biológico en todo tipo de especies e irrumpe una serie de procesos de interrelación entre las especies y sus hábitats. Así, aunque este conocimiento es principalmente aplicado como la base para entender el impacto de la contaminación lumínica en la vida silvestre, es innegable que puede emplearse también para el estudio del impacto sobre los seres humanos, quienes desde el campo de la biología son taxonómicamente hablando animales.

Bajo el enfoque de las ciencias de la salud, existen numerosos estudios que relacionan la luz con la disrupción de la arquitectura del sueño, la regulación de procesos metabólicos y la inhibición de la secreción de melatonina, proteína responsable de los ciclos de sueño y desencadenante de diversos procesos biológicos que necesitamos para el balance de nuestros ciclos circadianos (Challéat et al., 2021; Obayashi et al., 2019). Como se implica del trabajo de Mellow et al. (2005), la relevancia del sistema circadiano radica en el ordenamiento jerárquico que se genera, de manera que los ciclos moleculares tienen su origen a nivel celular, dándose bucles de retroalimentación de transcripción-traducción y posiblemente vías reguladoras metabólicas (ver Figura 6). En sus palabras, “los relojes de órganos o periféricos desarrollan un ritmo coordinado que está sincronizado en relación con un marcapasos en el cerebro”. No se trata entonces solamente del ciclo de sueño-vigilia, sino también de cientos de otros parámetros, desde las funciones cognitivas hasta los niveles de hormonas circulantes, que están ordenadas y coordinadas las 24 horas del día.

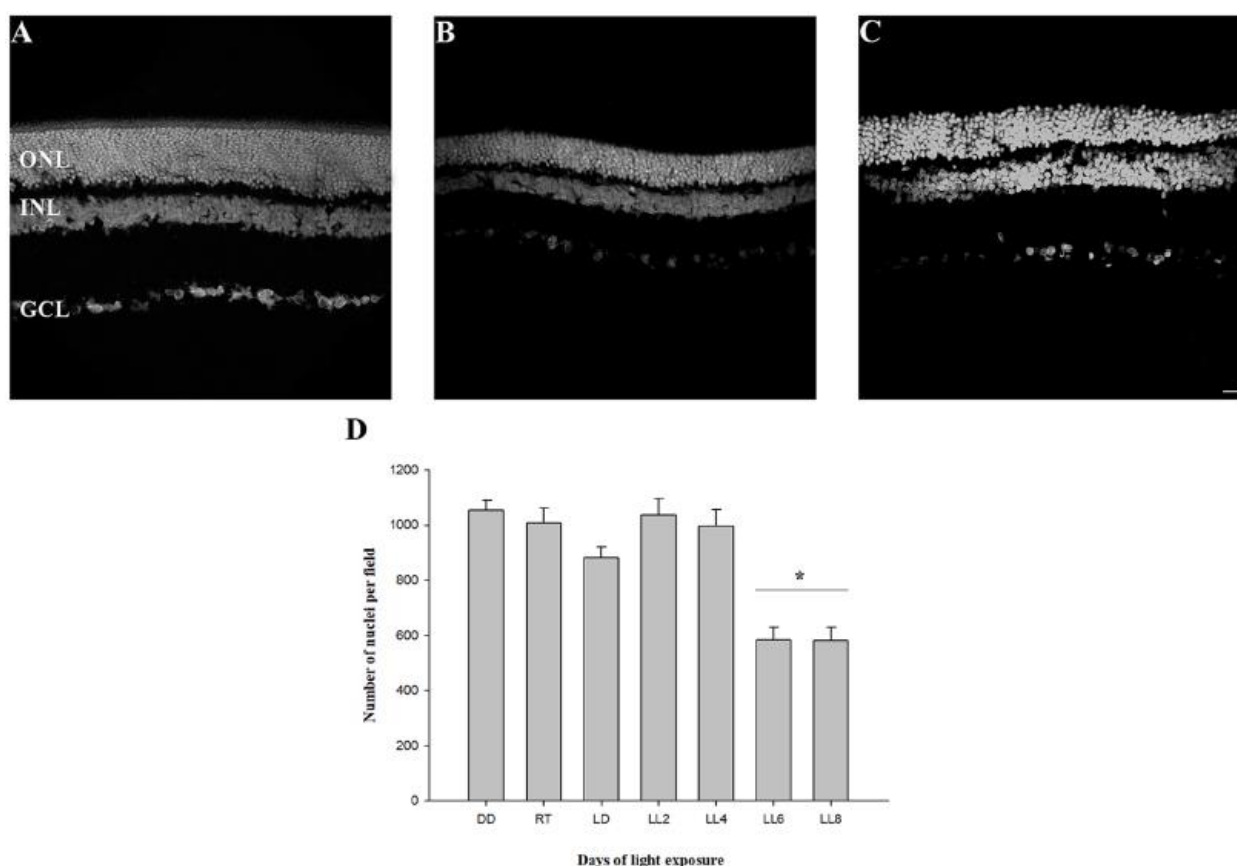
Figura N° 6: Relación del ciclo circadiano con procesos biológicos y la salud humana



Fuente: Resultados de experimento de Mellow et al. (2005)

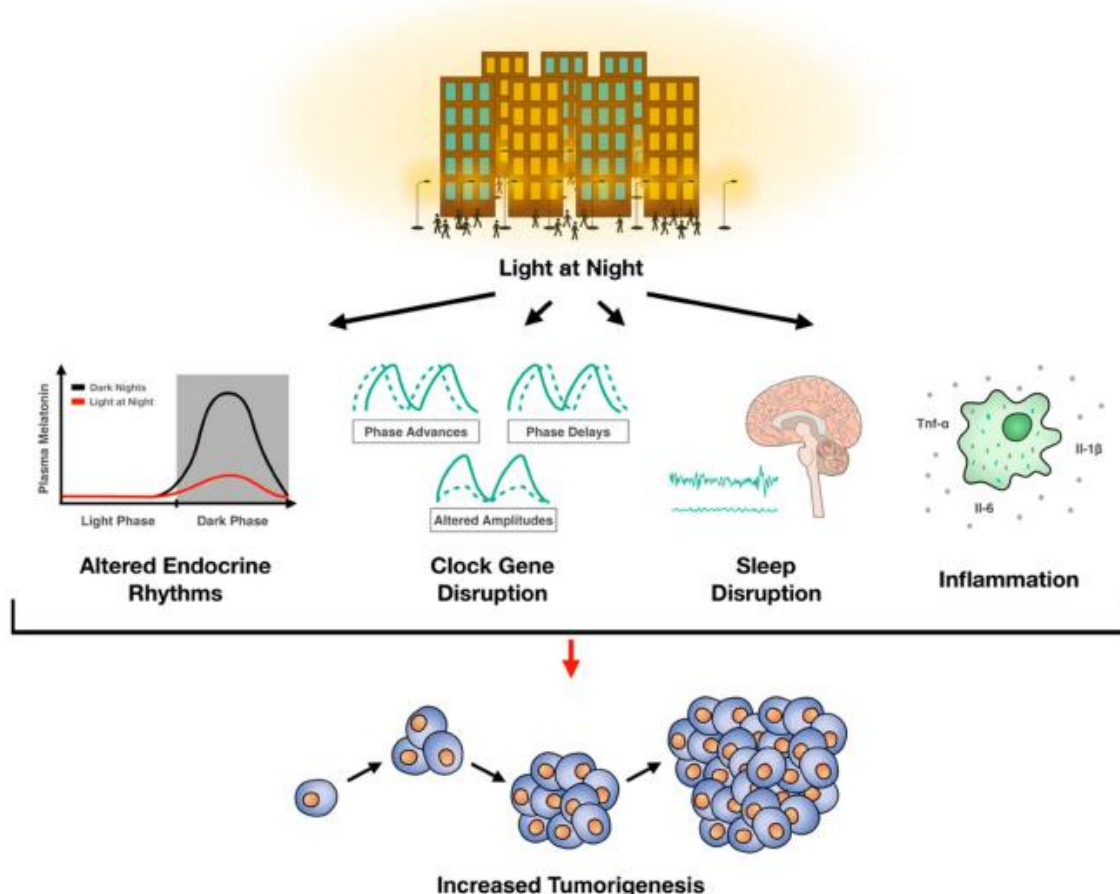
Así, las alteraciones originadas por la luz artificial pueden trascender los ciclos biológicos y escalar sus manifestaciones también en un plano fisiológico. Como destacan Benedetto & Contin (2019), la luz tiene la capacidad de desencadenar efectos oxidantes sobre las células del tejido ocular, generando estrés que puede inducir al desarrollo de enfermedades relacionadas a la visión. Y aunque el cuerpo humano tiene mecanismos diseñados para enfrentar los efectos de la exposición a la luz natural diurna, las reacciones antioxidantes de enzimas, proteínas y vitaminas no se han adaptado a la incidencia excesiva de luz. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 7, está comprobado que la iluminación excesiva puede abrumar las células fotorreceptoras en la retina, dañando la ya limitada capacidad visual de los mamíferos, incluidas las personas.

Figura N° 7: Efecto sobre la retina de un mamífero por la exposición constante a luz



Fuente: Resultados de experimento de Benedetto & Contin (2019)

Otro ámbito de preocupación en la salud humana ha sido plasmado por Walker et al. (2020), en su investigación sobre la relación entre la contaminación lumínica y el cáncer. Tomando como base los estudios previos que relacionaban los ciclos circadianos con la división celular, pudieron postular que los efectos contaminantes de la luz podrían desencadenar la reproducción descontrolada y defectuosa de células, especialmente en mamíferos. A partir de ello, realizaron experimentos controlados en ratas para comprobar la relación entre la exposición a fuentes artificiales de iluminación nocturna, la alteración de los ciclos circadianos y el desarrollo de cáncer. Sus hallazgos han generado evidencia del posible efecto carcinogénico de la exposición constante a la luz artificial. Sus resultados, aunque todavía no son conclusivos, muestran que la contaminación lumínica parece tener efecto sobre los complejos procesos biológicos que inducen la desincronización progresiva del ritmo circadiano; marcando de esta forma la ruptura del equilibrio entre la sobreproducción de especies reactivas oxidantes y los procesos antioxidantes (ver Figura 8).

Figura N° 8: Esquema del efecto de la luz artificial nocturna en la generación de tumores

Fuente: Modelo elaborado por Walker et al. (2020)

De lo anteriormente expuesto, se puede concluir que la contaminación lumínica es un factor ambiental que incrementa el riesgo de que una persona desarrolle una serie de enfermedades. Flies et al. (2019) consideran estas como enfermedades asociadas al entorno urbano, y resaltan el cáncer, los desórdenes metabólicos, las enfermedades cardiovasculares, la obesidad, las deficiencias en el desarrollo del esqueleto humano, e inclusive enfermedades mentales.

1.3. Estudios desde la perspectiva ambiental:

Con relación al último pilar de la sostenibilidad, el pilar medioambiental, la literatura es abundante, aunque es posible detectar dos tópicos frecuentemente abordados. Por un lado, el impacto sobre los animales, y por otro lado los efectos climáticos debido a la emisión de gases de efecto invernadero en la generación de la energía que permite la activación de las fuentes lumínicas.

En el primer grupo se encuentran investigaciones extremadamente específicas, analizando detalladamente los efectos de la contaminación lumínica especie por especie. No obstante, es posible identificar en estos estudios algunas repercusiones transversales sobre la biodiversidad. Los cambios en los ciclos gobernados por el día y la noche han alterado la dinámica de las interacciones entre las especies, sus metabolismos individuales, brindando señales confusas sobre las temporadas del año o generando ruido sobre las señales que se recibían naturalmente respecto de su ubicación física con relación a lugares necesarios para su preservación.

En la segunda tipología, no tan ampliamente explorada, se identifican trabajos que reportan estadísticas y correlaciones entre la contaminación lumínica y las emisiones de dióxido de carbono asociadas a la generación de la energía que alimenta las fuentes de luz.

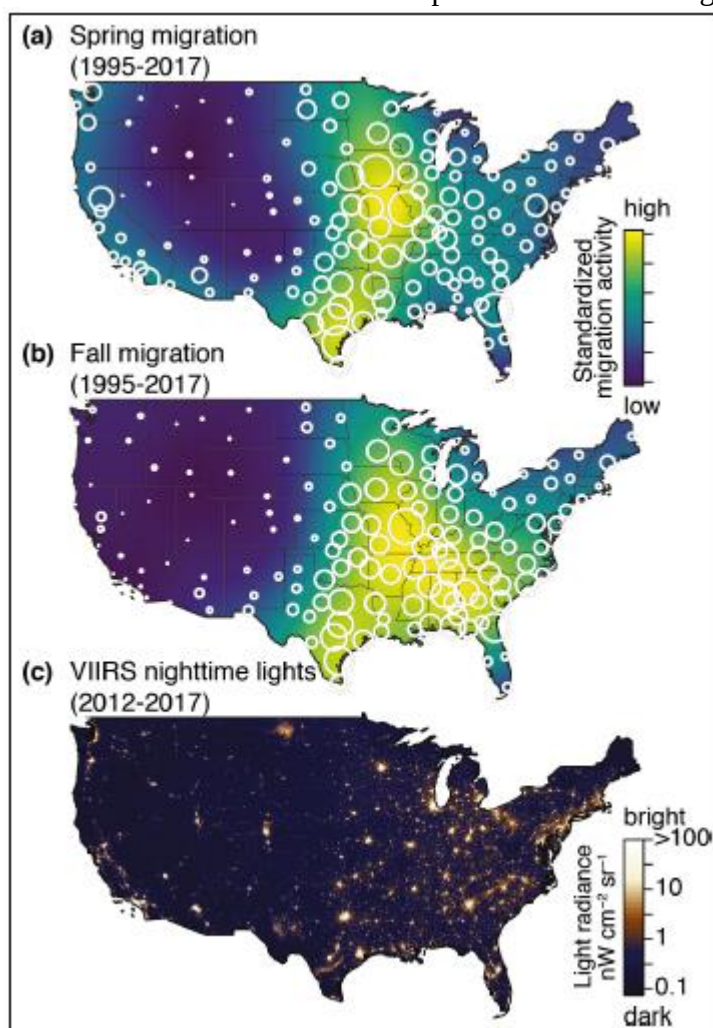
1.3.1. Impacto de la contaminación lumínica sobre los animales:

Challéat et al. (2021) mencionan que la pérdida de la oscuridad, debido a la creciente presencia de fuentes lumínicas artificiales que invaden el espacio y tiempo nocturno, genera una disrupción en las redes e interconexiones ecológicas naturales, perturbando los sistemas naturales en detrimento de la biodiversidad. Ditmer et al. (2020) expanden la lista de repercusiones señalando que una serie de investigaciones previas documentan el impacto de la luz artificial, por ejemplo, por el estrés fisiológico, la pérdida de los ciclos biológicos, el detrimento de la reproducción de las especies, el incremento del riesgo de ser depredados, los cambios en los patrones migratorios, la desorientación espacial y la pérdida de la capacidad para percibir su ubicación temporal, todo lo cual repercute sobre las señales que activan los instintos naturales que necesitan los animales para mantenerse seguros y lograr su supervivencia.

Por ejemplo, Horton et al. (2019) investigaron el efecto de la contaminación lumínica sobre las aves migratorias, las cuales dependen en gran medida de señales naturales de su entorno para determinar su ubicación y definir la dirección hacia la cual necesitan movilizarse para asegurar su supervivencia. Su análisis, centrado en la alteración del ambiente nocturno a raíz de la invasión de la luz de las grandes ciudades, expone la manera en que la depredación de la natural oscuridad impide a estos animales detectar adecuadamente su propia posición, así como identificar riesgos a los cuales deben enfrentarse durante su movilización, exponiéndolos a condiciones para las cuales no han evolucionado para enfrentar.

Caso N°1: Bright lights in the big cities: migratory birds' exposure to artificial light

El presente estudio, observa el desarrollado de la capacidad de las aves de migrar por la noche, y la reciente y rápida expansión en que la luz artificial por la noche (ALAN - Artificial Light At Night), ha alterado notablemente el cielo nocturno a través del cual viajan. Las aves migratorias pasan regularmente a través de paisajes muy iluminados y las luces brillantes afectan la orientación de las aves. Pero los riesgos para las aves migratorias de la luz artificial no son espacial o temporalmente uniformes, lo que representa un desafío para mitigar los peligros potenciales y desarrollar planes de acción para catalogar los riesgos a escalas continentales. El estudio aprovecha más de dos décadas de datos de teledetección recopilados por radares de vigilancia meteorológica y sensores basados en satélites para identificar ubicaciones y épocas del año en las que la mayor cantidad de aves migratorias están expuestas a la contaminación lumínica en los Estados Unidos y brinda una nueva oportunidad para estrategias de conservación dinámicas y específicas para abordar los peligros que plantea la contaminación lumínica para las aves que migran durante la noche.

Figura N° 9: Distribución acumulativa promedio de aves migratorias

Fuente y notas: Distribución acumulativa promedio de aves migratorias durante (a) las migraciones de primavera y (b) de otoño de 1995 a 2017, medida por radar de vigilancia meteorológica (WSR). Los círculos indican las ubicaciones de las estaciones WSR y se escalan a la actividad de migración acumulativa. Las magnitudes de los movimientos acumulativos de primavera y otoño están estandarizadas en el mismo rango. (c) Radiación media en escala log10 de ALAN medida por el VIIRS en el satélite Suomi-NPP. Tomado de Horton et al. (2019).

Para el estudio de la luz artificial de noche, el estudio Utilizó el producto mensual Day / Night Band (DNB) producto de VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) a bordo del satélite Suomi-NPP de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio para cuantificar la magnitud de la radiancia ALAN (Grupo de Observación de la Tierra, Centro Nacional de Datos Geofísicos de la NOAA; <https://bit.ly/2nCjqvz>). Los compuestos mensuales de radiación (nanovatios por centímetro cuadrado por estereorradián; $\text{nW cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$) se proyectan a 15 segundos de arco resolución geográfica y se filtran para excluir datos de luz parásita, relámpagos, iluminación lunar y nubosidad. Sin embargo, debido a que estos datos no se filtran para las auroras y los incendios, se hizo un promedio de 3 meses (octubre-diciembre) durante 6 años (2012-2017) para amortiguar la influencia de los eventos de iluminación episódica; se eligieron estos meses porque caen fuera de la temporada de tormentas primarias en América del Norte, lo que oscurecería las medidas de resplandor. Como paso adicional para garantizar la calidad de los datos, se excluyó cualquier píxel con menos de 5 días de uso antes de promediar los compuestos mensuales. Finalmente, se eliminaron los píxeles con valores de luminosidad superiores a $900 \text{ nW cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ para eliminar los incendios forestales y otros

eventos de iluminación efímeros de alta intensidad. La Figura 9 muestra los resultados integrados.

El estudio concluye, que ALAN continúa aumentando en muchas áreas a nivel mundial, presentando una amenaza ecológica cada vez mayor para todos los animales activos nocturnos, en particular las aves migratorias. Los esfuerzos de conservación concertados a escala y continental son necesarios para reducir la exposición de los migrantes a la contaminación lumínica. La relación desproporcionada entre la superficie de tierra ocupada por las ciudades y la cantidad de ALAN emitida deja pocas dudas donde más se necesitan las acciones de conservación: los centros urbanos. Tales esfuerzos requieren equilibrio con las necesidades de las partes interesadas. ALAN abarca desde fuentes brillantes hasta luz tenue, y sigue siendo una pregunta abierta cómo se debe priorizar la acción de conservación sobre estas fuentes tan diferentes. Además, el grado en el que las especies, o incluso las poblaciones, responden de manera diferente a ALAN sigue sin estar claro, pero podría tener importantes implicaciones para la conservación. Además, se encuentran disponibles diferentes conjuntos de datos, que pueden proporcionar información valiosa para caracterizar las alteraciones de ALAN en la biología de los organismos aéreos (por ejemplo, el brillo del horizonte frente al brillo ascendente). Aunque no comparamos directamente diferentes fuentes de información de ALAN con respecto a los riesgos de exposición, se cree que tales comparaciones serán de fundamental importancia.

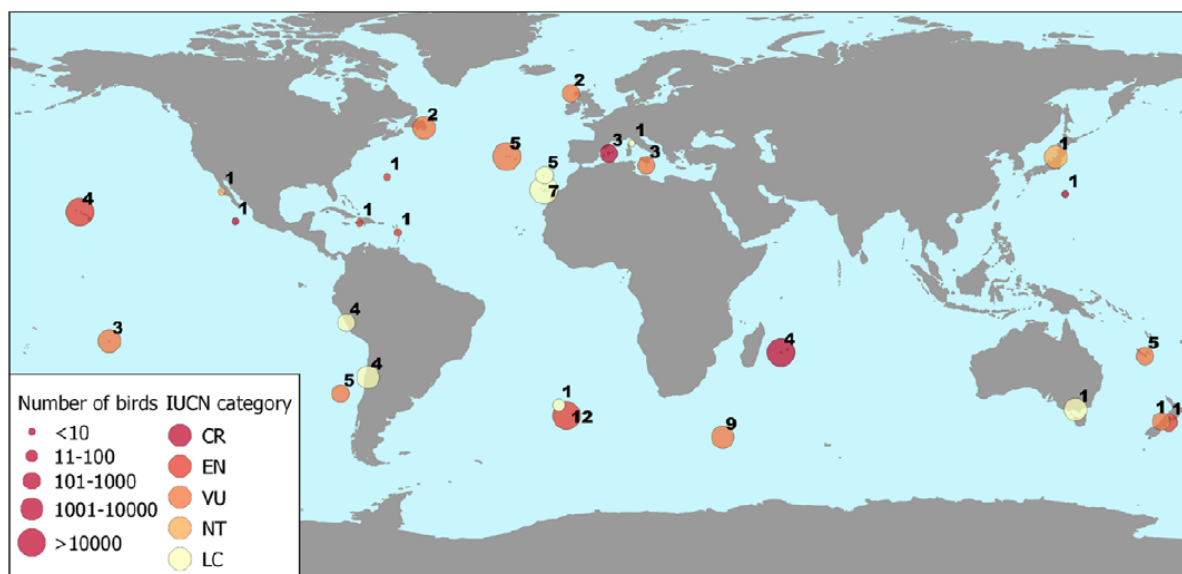
En una investigación similar e igualmente interesante, Rodríguez et al. (2017) analizan las consecuencias que acarrea la contaminación lumínica también sobre aves, pero esta vez poniendo el foco en las aves marinas costeras, que son consideradas en grupo de alto riesgo por tener una población cada vez en mayor declive a nivel internacional. Sus hallazgos se centran en la manera en que la dinámica costera se ve alterada con la aparición de plataformas y comercios pesqueros, principalmente, los cuales han venido acompañados de la emergencia de nuevas especies depredadoras y cambios físicos del hábitat que llevan a la desorientación de las aves marinas. No obstante, a diferencia del caso de estudio previo, en esta oportunidad los autores utilizan sus resultados con el fin de proponer opciones para mitigar el impacto generado. Así, su publicación abre las puertas a la toma de acciones que puedan ser usadas para enfrentar la situación problemática, tales como la minimización del uso de iluminación artificial, la rehabilitación de espacios ya depredados por el hombre y la compensación de las externalidades generadas mediante el control intencionado de las especies depredadoras que no existían previamente o la gestión de espacios propicios para el apareamiento y reproducción de las aves marinas en peligro de extinción.

Caso N° 2: Seabird mortality induced by land-based artificial lights

Las luces artificiales nocturnas causan una mortalidad alta de aves marinas, uno de los grupos de aves en mayor peligro de extinción a nivel mundial. Los polluelos de aves marinas que anidan en madrigueras, y en menor medida los adultos, son atraídos y forzados a aterrizar por las luces cuando vuelan de noche. Se revisa el estado actual del conocimiento sobre la atracción de las aves marinas por la luz para identificar vacíos de información y proponer medidas para resolver el problema. Aunque las especies de familias como Alcidae y Anatidae pueden ser forzadas a aterrizar por la luz artificial, las aves marinas más afectadas son los petreles y las pardelas (Procellariiformes). Por lo menos 56 especies de Procellariiformes, más de un tercio (24) de ellas amenazadas, son propensas al aterrizaje atraídas por las luces. Las aves marinas forzadas a aterrizar han sido halladas en todo el mundo, principalmente en islas oceánicas, pero también en algunas localidades continentales. Los sitios de anidación de los petreles confinados con anterioridad a islas deshabitadas están particularmente en riesgo de sufrir contaminación lumínica debido al turismo y al crecimiento urbano. Y, como se aprecia en la Figura 10, se cuenta con reportes que evidencian que las crías de estas especies se ven

atraídas por las fuentes de luz antropogénicas, exponiéndolas al peligro de explorar zonas donde están indefensas.

Figura N° 10: Ubicación de polluelos de aves marinas atraídos por la luz



Fuente y notas: Mapa elaborado por Rodríguez et al. (2016). Muestra los lugares donde se ha informado de la atracción de polluelos de aves marinas a las luces (número, número de especies afectadas; tamaño del círculo, proporcional al número de aves en tierra; CR, en peligro crítico; EN, en peligro; VU, vulnerable; NT, casi amenazado; LC, mínimo preocupación).

En donde no es práctico prohibir las luces externas, los programas de rescate de las aves accidentadas ofrecen la mitigación más inmediata y empleada para reducir la tasa de mortalidad inducida por la luz y salvar a miles de aves cada año. Estos programas también proporcionan información útil para el manejo de aves marinas. Sin embargo, estos datos están típicamente fragmentados, sesgados y son inciertos, y pueden llevar a estimaciones inexactas del impacto y a un entendimiento pobre del fenómeno de la atracción de las aves marinas por la luz. Se cree que las acciones necesarias de mayor urgencia para mitigar y entender la mortalidad de aves marinas producida por la luz son: la estimación de la mortalidad y los efectos sobre la población; la determinación de umbrales de niveles de luz y de distancias seguras a las fuentes de luz; el estudio del destino de las aves rescatadas; la mejora de las campañas de rescate, particularmente en términos de incrementar las tasas de recogida y el nivel de cuidado; y la investigación sobre las características de la luz para reducir la atracción de las aves marinas.

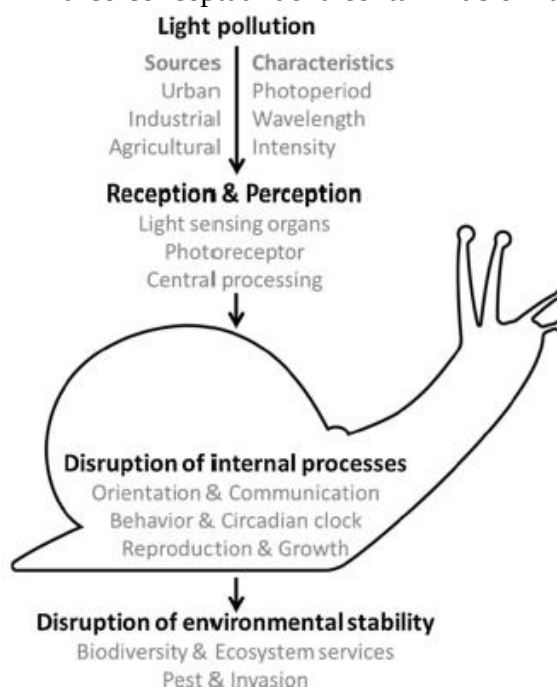
En otro estudio, Hussein et al. (2021) recuentan los efectos de la iluminación en la naturaleza, resaltando la forma orgánica en que los procesos biológicos siguen patrones muy relacionados con las condiciones estacionales de la luz natural. A partir de ello, proceden a explicar los cambios que se generan de forma inevitable al introducir luz artificial, desde las evidencias generales de sus efectos sobre diversos grupos de animales, para después analizar de manera particular a los moluscos. Sus hallazgos son consistentes con otros reportes, concluyendo que la contaminación lumínica es un factor de riesgo a nivel ambiental que demanda ser atendido puesto que cuenta con un alto potencial de desestabilizar ecosistemas completos.

Caso N°3: Slowly seeing the light: an integrative review on ecological light pollution as a potential threat for mollusks

Los cambios estacionales en las condiciones de luz natural juegan un papel fundamental en la regulación de muchos procesos biológicos en los organismos. La alteración de esta condición natural a través de la creciente pérdida de oscuridad como resultado de la contaminación lumínica antropogénica se ha relacionado con cambios en las características fisiológicas y de comportamiento de toda la especie. Este estudio comienza con una breve descripción de la definición de contaminación lumínica y los conocimientos más recientes sobre la percepción de la luz. Luego se centra en evidencia de algunos efectos adversos de la contaminación lumínica ecológica en los moluscos, graficada conceptualmente en la Figura 11. En conjunto, la evidencia disponible sugiere un papel crítico de la contaminación lumínica como una amenaza creciente y reciente para la regulación de varios procesos biológicos en estos animales, con el potencial de alterar la estabilidad del ecosistema. Esto último indica que la contaminación lumínica ecológica es una amenaza ambiental que debe tomarse en serio y requiere más atención en la investigación.

Un aspecto importante de la contaminación lumínica es su cuantificación. La cuantificación de la luz natural suele incluir la medición del brillo en un lugar determinado. Hay muchas formas de expresar tal brillo, pero la más ampliamente reconocida es la medida de ocurrencia de luz por unidad de área. La medición de la luz generalmente depende de dos propiedades de la luz: intensidad y composición espectral. Hoy en día, la unidad más utilizada para medir la luz es el lux, que tiene en cuenta la intensidad de la luz, pero descuida el tipo de luz (es decir, la composición espectral representada por longitudes de onda). Diversos autores sugirieron que la luz debería cuantificarse contando todas las propiedades de la luz. Por lo tanto, se recomienda a los científicos que cuantifiquen el brillo en fotones por metro cuadrado cada segundo acompañado de las longitudes de onda de esa luz.

Figura N° 11: El marco conceptual de la contaminación lumínica ecológica



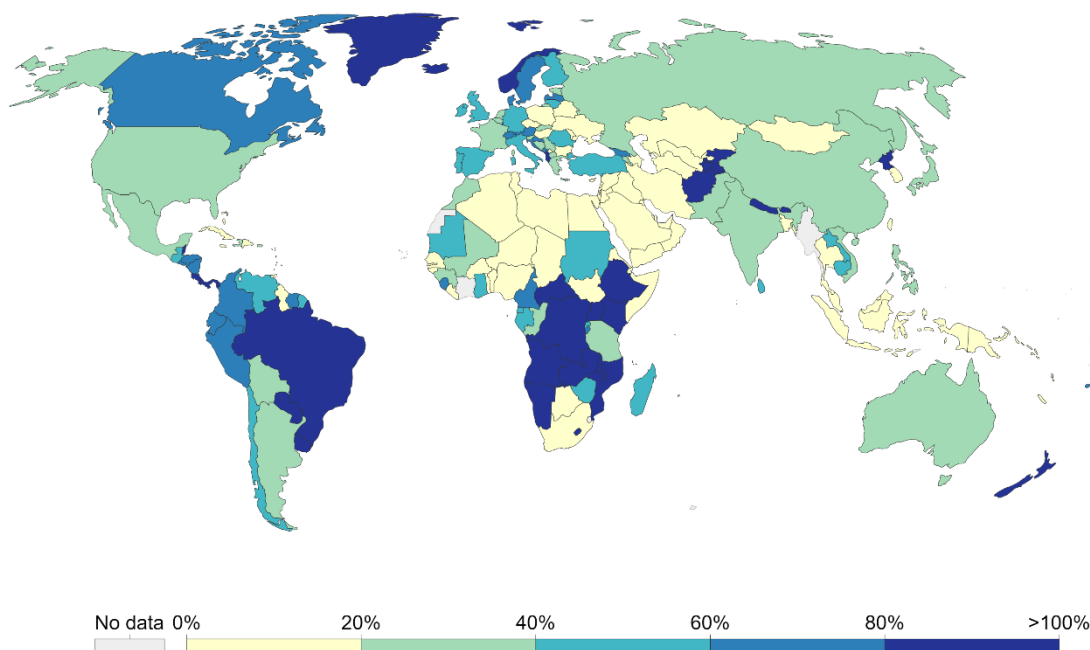
Fuente y notas: Hay muchas fuentes de luz artificial durante la noche que los animales pueden percibir a través de diferentes órganos sensibles a la luz. Los efectos de la luz artificial están mediados por los foto-períodos de luz, la longitud de onda y / o las intensidades de luz de las fuentes de luz artificial. Estas características de la luz pueden impactar por separado o combinadas en uno o más procesos internos. La combinación de dos o más de estos efectos puede provocar la alteración de la estabilidad ambiental. Tomado de Hussein et al. (2021).

Orientación y comunicación

La luz también es un actor esencial en la orientación de los animales, por ejemplo, para esconderse de enemigos o depredadores, para localizar compañeros de apareamiento, para encontrar comida y / o para migrar; cualquier cambio en el patrón de luz natural puede alterar su percepción de la dirección. El efecto de cómo la iluminación artificial nocturna afecta la migración se encuentra en las aves migratorias. Por ejemplo, se encontró que la iluminación exterior artificial perturba la orientación de las aves jóvenes, especialmente en condiciones nubladas. Además, se ha encontrado que algunas aves migratorias vuelan cerca de las luces en condiciones climáticas adversas y pueden desorientarse o incluso quedar atrapadas en áreas iluminadas. Tanto los animales diurnos como los nocturnos se ven afectados por la luz artificial en su hábitat. El aumento de la iluminación durante la noche puede mejorar la capacidad de los animales diurnos para orientarse y puede alterar ciertos comportamientos, como la búsqueda de alimento en aves y reptiles. Los efectos negativos de la luz artificial en la noche los experimentan especialmente los animales nocturnos porque están adaptados para navegar mejor en condiciones de oscuridad. Un ejemplo famoso proviene de las crías de tortugas marinas que se mueven desde sus nidos en playas arenosas hacia el océano guiadas por la luz natural, pero con el aumento de la iluminación artificial que rodea las playas, las crías se desorientan e incluso pueden moverse en dirección opuesta, de la costa.

Para el caso de los Moluscos, hay alguna evidencia de que la luz atrae caracoles y juega un papel en la evitación de depredadores. Según la investigación fisiológica y del comportamiento, la exposición a la sombra estimula a los caracoles y sus depredadores de manera opuesta. La sombra estimula al depredador a atacar, mientras que estimula los fotorreceptores no oculares en los caracoles para enviar señales de alerta a las 11 neuronas dorsales del pedal izquierdo y derecho. Estas neuronas se conectan a las neuronas motoras 13-16 a través de sinapsis químicas y puede iniciar el comportamiento de escape. Esta especie incluso se siente atraída por la luz cuando los ojos se extirpan experimentalmente. Esto último indica claramente que están involucrados fotorreceptores no oculares. Esta fototaxis positiva también se observa en el pulmón de agua dulce *Physa integra*, que se mueve hacia la costa en primavera y es guiado por la luz. Se encontró que estos caracoles se movían predominantemente hacia la luz y esta elección parecía independiente de una señal gravitacional. Los organismos también utilizan la comunicación a través de señales y / o señales visuales directas y la iluminación artificial puede perturbarla durante la noche. El aumento de la iluminación nocturna en el entorno de los gusanos incandescentes interfiere con la atracción de parejas a través de la bioluminiscencia. Por lo tanto, la presencia de iluminación artificial durante la noche disminuye las posibilidades de que los machos localicen y fertilicen las lombrices hembras que brillan intensamente. Hasta ahora, no hay evidencia de la literatura que sugiera que la contaminación lumínica afecte las señales sexuales en los moluscos. Sin embargo, esto puede no parecer sorprendente para los gasterópodos, que a menudo tienen habilidades visuales limitadas. Sin embargo, puede afectar a los cefalópodos, ya que estos tienen una vista bien desarrollada y se sienten atraídos por la luz. Por lo tanto, esta sigue siendo un área de investigación que merece más atención en estudios futuros.

Estos casos son solo algunos ejemplos que ejemplifican la amplitud de impactos asociados a la contaminación lumínica, y la extensión de la lista de especies afectadas resulta en extremo preocupante. Las investigaciones abarcan diversas familias de animales, y no se centran solo sobre los emblemáticos y muy conocidos casos de peces y tortugas marinas (Colman et al., 2020). Se ha detectado también la influencia de la luz artificial también sobre especies tropicales (Frank et al., 2018), murciélagos (Laforge et al., 2019), langostas (Clay Steell et al., 2020), corzos (Ciach & Fröhlich, 2019), reptiles (Injaian et al., 2020), entre varios otros animales.

Figura N° 13: Participación de fuentes renovables en la generación de electricidad

Fuente y notas: Tomado del mapa interactivo publicado por Our World in Data (2021). La producción energética renovable contempla la energía hidroeléctrica, solar, eólica, de biomasa, geotérmica y mareomotriz.

Además de los crecientes niveles de CO₂ como resultado directo de la quema de combustibles para la generación de la electricidad usada en la iluminación, existe otro efecto de la contaminación lumínica que es menos discutido. La reducción de niveles de radicales de nitrato. Como mencionan Stark et al. (2011), se trata de compuestos de un alto nivel oxidante y que facilitan la generación de ozono, por lo que forman parte del sistema natural de eliminación de compuestos orgánicos volátiles emitidos por plantas, animales y personas, y ayudan a regular los patrones climáticos en el planeta. Desafortunadamente, al tratarse de una estructura química altamente inestable en presencia de la luz diurna y fuentes lumínicas en general, su concentración en el ambiente es cada vez menor, lo cual impide que cumpla su rol purificador y supone potencialmente un gran factor de riesgo en la agudización del cambio climático.

Iniciativas globales, como la muy difundida “Hora del Planeta” buscan ponerle un freno a esta situación, llamando a la consciencia de manera masiva y colectiva. Y si bien ciertamente apagar las luces solamente una hora al año no es suficiente, puede marcar un punto de partida para cuestionarnos si realmente necesitamos seguir iluminando la noche o no (Jechow, 2019).

1.4. Estudios desde la perspectiva tecnológica:

Los esfuerzos para hacer frente a los efectos negativos de la iluminación excesiva se realizan en múltiples frentes, tales como políticas públicas, normativas técnicas y desarrollos tecnológicos. En particular, en el campo de la ingeniería, los trabajos se centran en el diseño de aparatos y sistemas que permitan controlar o contrarrestar, directa e indirectamente, los componentes fundamentales del fenómeno de contaminación lumínica, para lo cual es necesario comprender cómo es que la luz puede comportarse de manera perjudicial desde el punto de vista físico. En primer lugar, tenemos el fenómeno conocido como destello (ver Figura 14). Esta es la manera en que se denomina a la presencia de brillos extremos que generan una sensación de incomodidad visual. Cuando los niveles de iluminación son demasiado elevados, la luz puede llegar inclusive a impedir la visibilidad de las superficies a las que se supone que debería dar mayor visibilidad.

Figura N° 14: Luces destellantes en Atlanta, Georgia



Fuente: Foto original de la International Dark-Sky Association, y publicada por la organización Dark Skies Awareness.

Otra manera en la que puede ocurrir un exceso de luz es por efecto del agrupamiento. Se llama así a la formación de grupos de luces brillantes e irritantes que focalizan y potencian el efecto lumínico al superponerse (ver Figura 1). En ocasiones, el agrupamiento genera puntos cegadores de luz.

Figura N° 15: Agrupamiento de fuentes lumínicas



Fuente: Foto original de Chuck Bueter, publicada por el Observatorio de Contaminación Lumínica del Departamento de Física de la Florida Atlantic University.

Una tercera manifestación de la contaminación lumínica es lo que se conoce como intrusión, y ocurre debido a que la luz es una onda de radiación electromagnética capaz de viajar en toda dirección y sentido una vez que ha sido emitida. Por ello, como se aprecia en la Figura 16, cuando los sistemas de iluminación no están diseñados para dirigir y restringir este fenómeno físico, se puede terminar iluminando zonas donde no se necesita o no se desea tener el espacio alumbrado.

Este fenómeno se da comúnmente cuando la luz pasa por rendijas o atraviesa piezas transparentes como los vidrios de una ventana.

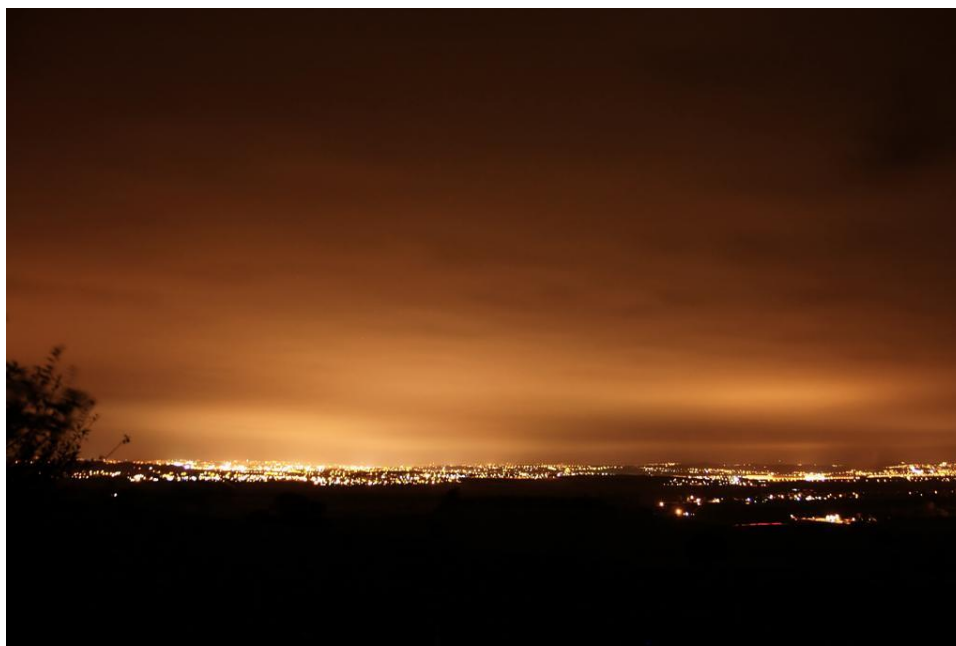
Figura N° 16: Luz intrusiva de reflectores deportivos en Grainger Indiana



Fuente: Foto original de Chuck Bueter, publicada por el Observatorio de Contaminación Lumínica del Departamento de Física de la Florida Atlantic University.

Finalmente, una cuarta forma en la que la luz puede resultar contaminante es cuando se desarrolla un resplandor artificial y permanente en el cielo. La intensidad de este fenómeno físico depende de dos factores. Por un lado, la luz en sí misma, especialmente sus componentes que viajan en dirección al cielo; y la presencia de partículas de vapor, polvo y gases suspendidas en el aire, las cuales fuerzan a la onda lumínica a dispersarse en nuevas direcciones, rebotando y superponiéndose, hasta que se muestra como una bruma luminosa. Esta combinación da como resultado un brillo generado por la dispersión de múltiples ondas lumínicas de las fuentes de luz artificial, el cual hace resplandecer el cielo nocturno incluso a grandes distancias de la fuente luminosa (ver Figura 17).

Este fenómeno ha demostrado ser de especial interés para astrónomos y fotógrafos, quienes ven sus labores interrumpidas, ya que este resplandor resta visibilidad del cielo nocturno natural.

Figura N° 17: Resplandor del cielo en Yorkshire del Sur

Fuente y notas: Foto original de Rob Jackson en el valle de Dearne en Yorkshire del Sur (53° 31 25 N 1° 14 50 W) y publicada en sus redes sociales con el mensaje: “Esta imagen demuestra claramente hasta qué punto se desperdicia frívolamente grandes cantidades de energía en iluminar las nubes de arriba, en lugar de las calles y carreteras de abajo.”

1.4.1. Tecnologías para reducir el impacto del exceso de iluminación:

La estrategia con la cual la ingeniería afronta la contaminación por iluminación se fundamenta, en primer lugar, en reconocer que la solución no es dejar de iluminar la noche. La luz ha traído innegables beneficios a la mejora de la calidad de vida de las personas. Sin embargo, como también necesitamos la oscuridad, resulta importante plantearnos nuevas preguntas para cambiar la manera en que diseñamos nuestros sistemas de iluminación: ¿cómo iluminar?, ¿con qué iluminar?, ¿hacia dónde iluminar?, ¿cuándo iluminar?, ¿qué tanto iluminar?, son ejemplo de algunas de las interrogantes que se están introduciendo en la concepción del diseño arquitectónico y de ingeniería (Hinojosa Macías & Gisbert Soler, 2016; Schulte- Römer et al., 2019).

Así, uno de los focos de desarrollo tecnológico está abocado a la mejora de la eficiencia de los sistemas de iluminación. Elegir cómo, con qué y hacia dónde iluminar está intrínsecamente asociado a la selección de luminarias que tengan la capacidad de consumir la electricidad de una manera más eficiente y que permitan dirigir con mayor precisión el camino que seguirán las ondas lumínicas. Según Zielinska-Dabkowska & Xavia (2019), las luces LED vienen consolidando su posición como un favorito en el mercado, no solo por los considerables ahorros energéticos que estas suponen, sino también porque se trata de un producto que puede ser fabricado a un costo muy bajo y demostrando una durabilidad mayor. Esto ha llevado a que, para algunos, las luces LED sean consideradas la mejor opción de iluminación ecoamigable (Schulte- Römer et al., 2019).

Su masificación es interpretada, desde tal perspectiva, como el resultado lógico de encontrarnos ante una opción tecnológica y comercialmente viable, la cual además posee una gran adaptabilidad de usos. En su trabajo, por ejemplo, Zielinska-Dabkowska & Xavia (2019) mencionan citando a múltiples autores que los sistemas de iluminación LED, hoy por hoy, se aplican en una diversidad de escenarios, como lo son el alumbrado público, iluminación de construcciones históricas, embellecimiento de fachadas, así como para aplicaciones de iluminación paisajística y en emprendimientos para desarrollar ciudades más inteligentes. Adicionalmente, señalan, los sistemas LED no solo se utilizan en iluminación estática, sino

que también se han incorporado en sistemas animados y de video, previéndose una tendencia de crecimiento para dicho mercado.

Sin embargo, tanto Zielinska-Dabkowska & Xavia (2019) como Schulte- Römer et al. (2019) no dejan de resaltar que, a pesar de todos estos beneficios, las luminarias LED pueden generar un destello excesivo y tener características que necesitan ser sopesadas para lograr un diseño óptimo de un sistema de iluminación. Según sus investigaciones, la intensidad luminosa de un diodo puede llegar a ser innecesaria en determinados contextos, y aun así terminar siendo elegida por encima de otras alternativas tecnológicas debido a su bajo costo. Por ello, plantean que existe una paradoja sobre el verdadero nivel de sostenibilidad de la tecnología LED, y postulan cada uno por sus propios hallazgos que el desarrollo de opciones de luminarias y su posterior uso demandan un análisis mucho más integral de los sistemas de iluminación, a fin de que se cumplan criterios de calidad tecnológica y de sostenibilidad en su uso a lo largo de su ciclo de vida, especialmente en los entornos urbanos.

Esta paradoja experimentada a nivel de las luminarias nos permite explorar un segundo campo para contrarrestar la contaminación lumínica: la automatización de sistemas de iluminación. Por un lado, trabajos como el de Vargas et al. (2017) plantean la aplicación de lazos de control para regular el encendido y apagado de luminarias, de manera que se controle el cuándo iluminar; y en otro extremo Stone et al. (2020) explora una estrategia basada en refinar los sistemas que se utilizan en escenarios de oscuridad, como por ejemplo vehículos, y automatizarlos de forma que puedan tener independencia en escenarios de iluminación limitada, donde la dirección humana no está preparada para manejar, pero sí podría hacerlo un vehículo autónomo. Con ello, queda evidenciado que el siguiente salto para enfrentar la contaminación lumínica puede estar en un campo de diseño donde se aprovechen los avances tecnológicos en sistemas autónomos.

Literatura Citada

- Bará, S., Rodríguez-Arós, Pérez, M., Tosar, B., Lima, R. C., Sánchez de Miguel, A., & Zamorano, J. (2019a). Estimating the relative contribution of streetlights, vehicles, and residential lighting to the urban night sky brightness. *Lighting Research and Technology*, 51(7), 1092–1107. <https://doi.org/10.1177/1477153518808337>
- Bará, S., Lima, R. C., & Zamorano, J. (2019b). Monitoring long-term trends in the anthropogenic night sky brightness. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113070>
- Benedetto, M. M., & Contin, M. A. (2019). Oxidative stress in retinal degeneration promoted by constant LED light. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00139>
- Bustamante-Calabria, M., de Miguel, A. S., Martín-Ruiz, S., Ortiz, J. L., Vílchez, J. M., Pelegrina, A., García, A., Zamorano, J., Bennie, J., & Gaston, K. J. (2021). Effects of the covid-19 lockdown on urban light emissions: Ground and satellite comparison. *Remote Sensing*, 13(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/rs13020258>
- Challéat, S., Barré, K., Laforge, A., Lapostolle, D., Franchomme, M., Sirami, C., le Viol, I., Milian, J., & Kerbirou, C. (2021). Grasping darkness: The dark ecological network as a social-ecological framework to limit the impacts of light pollution on biodiversity. *Ecology and Society*, 26(1). <https://doi.org/10.5751/ES-12156-260115>
- Ciach, M., & Fröhlich, A. (2019). Ungulates in the city: light pollution and open habitats predict the probability of roe deer occurring in an urban environment. *Urban Ecosystems*, 22(3), 513–523. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00840-2>
- Clay Steell, S., Cooke, S. J., & Eliason, E. J. (2020). Artificial light at night does not alter heart rate or locomotor behaviour in Caribbean spiny lobster (*Panulirus argus*): Insights into light pollution and physiological disturbance using biologgers. *Conservation Physiology*, 8(1). <https://doi.org/10.1093/conphys/coaa097>
- Colman, L. P., Lara, P. H., Bennie, J., Broderick, A. C., de Freitas, J. R., Marcondes, A., Witt, M. J., & Godley, B. J. (2020). Assessing coastal artificial light and potential exposure of wildlife at a national scale: the case of marine turtles in Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 29(4), 1135–1152. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01928-z>
- Ditmer, M. A., Stoner, D. C., Francis, C. D., Barber, J. R., Forester, J. D., Choate, D. M., Ironside, K. E., Longshore, K. M., Hersey, K. R., Larsen, R. T., McMillan, B. R., Olson, D. D., Andreasen, A. M., Beckmann, J. P., Holton, P. B., Messmer, T. A., & Carter, N. H. (2021). Artificial nightlight alters the predator–prey dynamics of an apex carnivore. *Ecography*, 44(2), 149–161. <https://doi.org/10.1111/ecog.05251>
- Electricity Mix - Our World in Data*. (n.d.). Retrieved July 10, 2021, from <https://ourworldindata.org/electricity-mix>
-

- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Falchi, F., Furgoni, R., Gallaway, T. A., Rybnikova, N. A., Portnov, B. A., Baugh, K., Cinzano, P., & Elvidge, C. D. (2019). Light pollution in USA and Europe: The good, the bad and the ugly. *Journal of Environmental Management*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.128>
- Flies, E. J., Mavoa, S., Zosky, G. R., Mantzioris, E., Williams, C., Eri, R., Brook, B. W., & Buettel, J. C. (2019). Urban-associated diseases: Candidate diseases, environmental risk factors, and a path forward. In *Environment International* (Vol. 133). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105187>
- Frank, T. M., Gabbert, W. C., Chaves-Campos, J., & Laval, R. K. (2019). Impact of artificial lights on foraging of insectivorous bats in a costa rican cloud forest. *Journal of Tropical Ecology*, 35(1), 8–17. <https://doi.org/10.1017/S0266467418000408>
- Gallaway, T., Olsen, R. N., & Mitchell, D. M. (2010). The economics of global light pollution. *Ecological Economics*, 69(3), 658–665. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.10.003>
- García Gil, M., & González Dorta, N. (2016). The influence of private lights on the source of the light pollution. *Architecture, City, and Environment*, 11(31), 93–120. <https://doi.org/10.5821/ace.11.31.4651>
- González-Madrigal, J., Solano-Lamphar, H., & Ramírez, M. (2020). La contaminación lumínica como aproximación a la planeación urbana. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 46(138), 155–174. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612020000200155>
- Hinojosa Macías, A., & Gisbert Soler, V. (2016). La calidad en el diseño de la iluminación. *3C Tecnología_Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme*, 5(2), 98–108. <https://doi.org/10.17993/3ctecno.2016.v5n2e18.98-108>
- Horton, K. G., Nilsson, C., van Doren, B. M., la Sorte, F. A., Dokter, A. M., & Farnsworth, A. (2019). Bright lights in the big cities: migratory birds' exposure to artificial light. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(4), 209–214. <https://doi.org/10.1002/fee.2029>
- Hussein, A. A. A., Bloem, E., Fodor, I., El-Sayed Baz, & Tadros, M. M., Soliman, M. F. M., El-Shenawy, N. S., & Koene, J. M. (2021). Slowly seeing the light: an integrative review on ecological light pollution as a potential threat for mollusks. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5036–5048. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11824-7> Published
- Injaian, A. S., Francis, C. D., Ouyang, J. Q., Dominoni, D. M., Donald, J. W., Fuxjager, M. J., Goymann, W., Hau, M., Husak, J. F., Johnson, M. A., Kircher, B. K., Knapp, R., Martin, L. B., Miller, E. T., Schoenle, L. A., Williams, T. D., & Vitousek, M. N. (2020). Baseline and stress-induced corticosterone levels across birds and reptiles do not reflect urbanization levels. *Conservation Physiology*, 8(1). <https://doi.org/10.1093/conphys/coz110>
-

- Jägerbrand, A. K., & Bouroussis, C. A.** (2021). Ecological impact of artificial light at night: Effective strategies and measures to deal with protected species and habitats. *In Sustainability (Switzerland) (Vol. 13, Issue 11)*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/su13115991>
- Jechow, A.** (2019). Observing the impact of WWF earth hour on Urban light pollution: A case study in Berlin 2018 using differential photometry. *Sustainability (Switzerland)*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/su11030750>
- Laforge, A., Pauwels, J., Faure, B., Bas, Y., Kerbiriou, C., Fonderflick, J., & Besnard, A.** (2019). Reducing light pollution improves connectivity for bats in urban landscapes. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00803-0>
- Light pollution statistics - country or dependency.** (n.d.). Retrieved July 14, 2021, from https://www.lightpollutionmap.info/LP_Stats/country.html?country=Peru
- Light pollution sky glow over South Yorkshire | This image c... | Flickr.** (n.d.). Retrieved July 7, 2021, from <https://www.flickr.com/photos/10660943@N05/2503354485>
- Merrow, M., Spoelstra, K., & Roenneberg, T.** (2005). The circadian cycle: Daily rhythms from behaviour to genes. *In EMBO Reports (Vol. 6, Issue 10, pp. 930–935)*. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400541>
- Mu, H., Li, X., Du, X., Huang, J., Su, W., Hu, T., Wen, Y., Yin, P., Han, Y., & Xue, F.** (2021). Evaluation of light pollution in global protected areas from 1992 to 2018. *Remote Sensing*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/rs13091849>
- Obayashi, K., Yamagami, Y., Tatsumi, S., Kurumatani, N., & Saeki, K.** (2019). Indoor light pollution and progression of carotid atherosclerosis: A longitudinal study of the HEIJO-KYO cohort. *Environment International*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105184>
- Pracki, P., & Skarżyński, K.** (2020). A multi-criteria assessment procedure for outdoor lighting at the design stage. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/su12041330>
- Rodríguez, A., Holmes, N. D., Ryan, P. G., Wilson, K. J., Faulquier, L., Murillo, Y., Raine, A. F., Penniman, J. F., Neves, V., Rodríguez, B., Negro, J. J., Chiaradia, A., Dann, P., Anderson, T., Metzger, B., Shirai, M., Deppe, L., Wheeler, J., Hodum, P., ... Corre, M. le.** (2017). Seabird mortality induced by land-based artificial lights. *In Conservation Biology (Vol. 31, Issue 5, pp. 986–1001)*. Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/cobi.12900>
- Schulte-Römer, N., Meier, J., Söding, M., & Dannemann, E.** (2019). The LED Paradox: How light pollution challenges experts to reconsider sustainable lighting. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/su11216160>
- Stark, H., Brown, S. S., Wong, K. W., Stutz, J., Elvidge, C. D., Pollack, I. B., Ryerson, T. B., Dube, W. P., Wagner, N. L., & Parrish, D. D.** (2011). City lights and urban air. *In Nature Geoscience (Vol. 4, Issue 11, pp. 730–731)*. <https://doi.org/10.1038/ngeo1300>
- Stone, T., Santoni de Sio, F., & Vermaas, P. E.** (2020). Driving in the Dark: Designing Autonomous Vehicles for Reducing Light Pollution. *Science and Engineering Ethics*, 26(1), 387–403. <https://doi.org/10.1007/s11948-019-00101-7>
-

- Vargas, C., Guamán, J., Nogales, R., & Ríos, A.** (2017). Photovoltaic Lighting System with Intelligent Control based on ZigBee and Arduino. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7(1), 224–233. <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/5335/pdf>
- Walker, W. H., Bumgarner, J. R., Walton, J. C., Liu, J. A., Meléndez-Fernández, O. H., Nelson, R. J., & Devries, A. C.** (2020). Light pollution and cancer. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 21, Issue 24, pp. 1–18). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms21249360>
- Zielinska-Dabkowska, K. M., & Xavia, K.** (2019). Global approaches to reduce light pollution from media architecture and non-static, self-luminous LED displays for mixed-use urban developments. *Sustainability (Switzerland)*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/su11123446>
- Zissis, G.** (2020). Sustainable lighting and light pollution: A critical issue for the present generation, a challenge to the future. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/su12114552>
-

BASES TEÓRICAS

Por:

Fredy Vicente Huayta Socantaype
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Víctor Genaro Rosales Urbano
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Daniel Víctor Surco Salinas
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

2. Bases teóricas

2.1. Contexto

Como ya se ha señalado, fue muy importante para la humanidad el descubrimiento de la primera bombilla eléctrica, hace varias décadas. Significó en primer lugar, el principio de la luz artificial y, en segundo lugar, los cimientos para la industria del sector eléctrico. Sin embargo, a través del tiempo se ha incrementado la contaminación del cielo teniendo como uno de los factores contaminantes a la iluminación artificial aplicada en infraestructura vial y construcciones de diversas características modernas específicamente a nivel urbano. Referente a lo tratado, Boehmwald (2019, p.3) cita a la UNESCO (2009), que menciona: “La alteración innecesaria de la cantidad natural de luz presente en el medio nocturno causada por las emisiones o flujos luminosos producidos por fuentes artificiales, en intensidades, horarios o rangos espectrales innecesarios, es lo que se conoce como Contaminación Lumínica”.

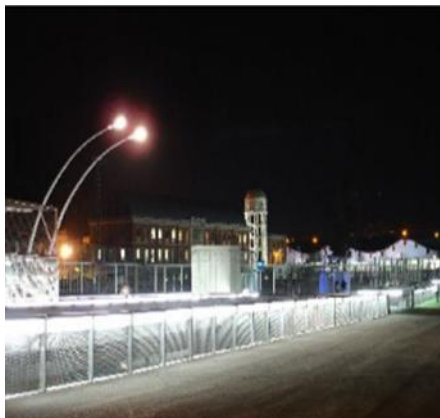
La Contaminación Lumínica como problemática ambiental radica en los potenciales impactos que provocaría el ingreso a un medio naturalmente oscuro, como la noche, de luz invasiva y no natural, alterando los patrones de luz y oscuridad dados por los ciclos astronómicos fundamentales, como son la alternancia del día-noche y la sucesión de las estaciones generando distorsiones cuyos alcances serían difíciles de dimensionar, pero que, con toda seguridad ocasionarían la extinción de alguna especie y la aparición de nuevas exigencias adaptativas para las demás. Por otra parte, la conversión de la energía eléctrica en energía luminosa supone el uso de recursos naturales no renovables y altamente contaminantes como el petróleo, carbón, uranio, etc.; cuyas emisiones están directamente relacionadas con el equilibrio climático del planeta y el incremento en los niveles de contaminación en la atmosfera, los que a su vez también se convierten en un factor a considerar desde el punto de vista de la Contaminación Lumínica ya que acentúan el resplandor del cielo dependiendo de las propiedades de las partículas en suspensión - Definición de la Contaminación Lumínica establecida por la UNESCO en el año 2009.

La contaminación lumínica ya es un problema mundial en el aspecto ambiental que requiere ser tratado por las naciones del planeta de manera integral siendo abordado por diversas instituciones relacionadas al tema en mención, a fin de aportar alternativas de solución lo más concretas posibles y que tengan el impacto necesario de manera beneficiosa a la sociedad, ya sea en la calidad de vida o en el equilibrio de los ecosistemas.

Al respecto, Boehmwald (2019), expone:

“En la comunidad europea son variados organismos los encargados de velar por el resguardo del cielo como patrimonio cultural, social y ecológico, teniendo mucha importancia los movimientos ciudadanos que han participado en los procesos de decisión en estas materias. Desde el punto de vista de las regulaciones, la comunidad europea cuenta con normativas muy estrictas orientadas precisamente a regular las emisiones en determinadas longitudes de onda e intensidades de diversas fuentes emisoras, incluyendo las luminarias LED, como son la UE 62471 referida a la seguridad fotobiológica y la UE 62778 asociada a los riesgos derivados de la luz azul en la retina”. (p.4)

Del párrafo anterior, se puede entender que se justifica emprender acciones que busquen mitigar la contaminación lumínica en el planeta ya que si bien es necesaria la luz artificial también debe considerarse que dicha necesidad debe estar enmarcada en los límites permisibles a fin de mantener el equilibrio del ecosistema.



Fuente: <http://www.celfosc.org>

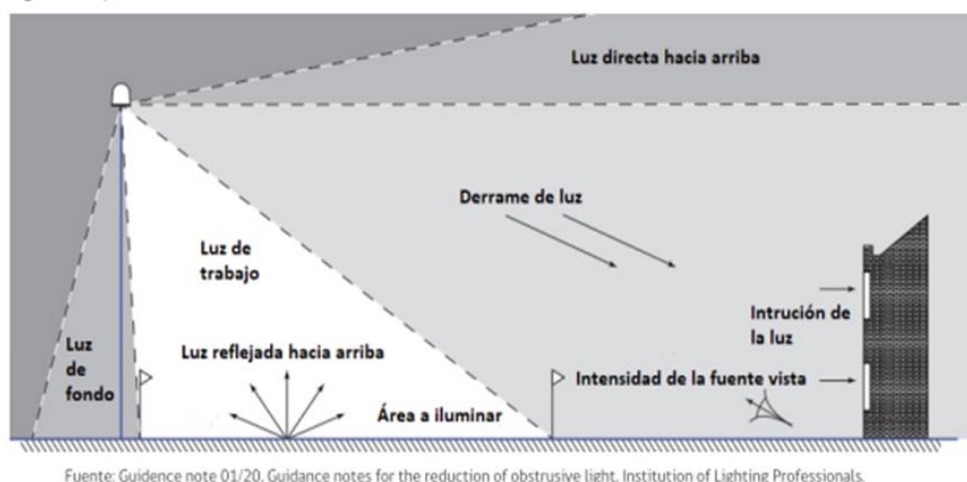
La prevención y reducción de la contaminación lumínica y la eficiencia energética son dos aspectos que deben ir de la mano en el diseño de nuestro alumbrado público. Aunque culturalmente asociemos la luz a seguridad y desarrollo, valorando de manera negativa la oscuridad, es posible para nuestras ciudades un alumbrado de calidad que tengan en cuenta estos dos aspectos, demandados por una sociedad cada vez más sensibilizada con la protección ambiental y el ahorro energético. Desde este punto de vista no parece muy lógico alumbrar el cielo en vez de iluminar las aceras o mantener hasta altas horas de Aparcamiento del cuartel de Artillería, Murcia Capital - proyecto fin de máster: Estudio de la contaminación lumínica y eficiencia energética en el alumbrado exterior de Pilar Ponce Lara, 25 setiembre 2014 –(Cartagena).

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).

Figura N°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.

Figura 1. Tipos de luz intrusiva



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

Fuente: adaptado de Institution of Lighting Professionals, (2020).

Lima es una de las ciudades más contaminadas de Latinoamérica. Según un informe de Greenpeace y AirVisual, - 2018 World Air Quality Report Region & City PM 2.5 Ranking (2019) IQ AirVisual <https://www.airvisual.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2018-en.pdf>-, la capital del Perú es la séptima ciudad en Sudamérica con mayor contaminación de aire. En temas de ruido, una evaluación del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) en el 2015 concluyó que 90.2% de un total de 250 puntos críticos medidos en Lima y Callao exceden los estándares de calidad ambiental de ruido (ECA-Ruido). A ello podemos sumarle los retos de la contaminación plástica, y el control de efluentes que llegan a los ríos y al mar. Hay diversas normas y esfuerzos para prevenir y controlar estas fuentes de contaminación, pero hay una fuente de contaminación que está creciendo sin un marco legal que la regule adecuadamente e instituciones que hayan priorizado un plan de acción frente a ella: la contaminación lumínica.

Los impactos negativos de la contaminación lumínica -en los que nos enfocamos en este texto- están vinculados específicamente a la luz artificial nocturna. Si bien a nivel mundial se ha creado un movimiento que busca controlar la contaminación lumínica, principalmente por su impacto en los cielos nocturnos, esta no solo altera el paisaje nocturno, sino que tiene efectos negativos en la salud e integridad física de las personas y de la vida silvestre.

La Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA) ha preparado un informe sobre la contaminación lumínica generada por los paneles LED, por ser una de las principales causas y porque creemos que es urgente que en el Perú se tomen medidas para regular su uso en aras de proteger nuestros derechos constitucionales.

2.2. Naturaleza de la luz

2.2.1. Aspectos físicos

La difusión hacia el cielo

La difusión hacia el cielo es la forma de contaminación lumínica consistente en la emisión de rayos luminosos que se difunden hacia el firmamento. Se origina porque la luz interactúa con las partículas del aire y se desvía en todas direcciones. El proceso se hace más intenso si hay partículas contaminantes en la atmósfera (partículas sólidas o aerosoles, humos), como suele ser frecuente en la atmósfera de las ciudades, donde encontramos precisamente una gran cantidad de ellas. Como resultado de ello podemos observar ese característico halo luminoso que cubre algunas ciudades y las hace visibles a gran distancia (el de Madrid se eleva 20 km por encima de la ciudad, o el de Barcelona, por ejemplo, es perceptible, incluso, a 300 km de distancia).

Figura N°2: Característico halo luminoso en la ciudad de Barcelona visto de sus alrededores.



Fuente: <http://www.celfosc.org>.

Se produce por emisión directa de la luz desde las luminarias hacia el cielo, o bien por la reflexión de la luz hacia el cielo desde la superficie iluminada. Lo primero se puede evitar utilizando luminarias bien apantalladas, con cierre de vidrio plano e instaladas en paralelo al suelo. Lo segundo sólo puede reducirse con el empleo de materiales en la superficie que tengan un bajo coeficiente de reflexión. La difusión hacia el cielo es la forma más agresiva de contaminación lumínica y la que más afecta directamente a los aficionados a la observación astronómica, ya que disminuye la oscuridad natural del cielo y se dificulta la observación de las estrellas. Los animales nocturnos también se ven afectados, puesto que la intromisión de la luz artificial y su dispersión lateral altera su conducta, desequilibrando las poblaciones de animales. Los efectos en las poblaciones de insectos, que son de las más afectadas, erosionan la base de la cadena alimentaria, repercutiendo en el resto. Un parámetro de cuantificación de la contaminación lumínica es la emisión de flujo superior (EFS), que representa la cantidad de flujo lumínico que se escapa de la ciudad hacia el cielo y que se expresa en lúmenes (lm). (<http://www.celfosc.org>.)

El sobreconsumo

El sobreconsumo consiste en el consumo energético inútil o innecesario derivado de la emisión de rayos luminosos con un exceso de intensidad o de distribución espectral. Si se envía luz a lugares donde ésta no es necesaria, como al cielo o hacia el ángulo de deslumbramiento, hay que aumentar la potencia de las bombillas para iluminar toda el área requerida. Por otra parte, algunas bombillas, como las de vapor de mercurio, consumen una parte de la energía en producir luz ultravioleta, invisible para el ojo humano y que no se aprovecha. Para evitar el sobreconsumo hay que utilizar preferentemente bombillas con una

elevada eficiencia energética que generen luz con una longitud de onda que proporcione una buena visibilidad con el mínimo consumo. Las bombillas de vapor de sodio, de alta y baja presión, son las más indicadas, por tanto, es conveniente, en la renovación del alumbrado exterior ir sustituyendo las bombillas de vapor de mercurio por estas otras, de menor impacto ambiental, así como intentar reducir la potencia instalada. La estructura y la orientación de las pantallas de las farolas o focos de luz es también muy importante para conseguir el máximo aprovechamiento de la luz con el mínimo impacto ambiental. (https://pdfs.semanticscholar.org/1cde/e03a24586f4114dea0b03e9247f17200b92e.pdf?_ga=2.171911459.2062794491.1626499967-665362609.1626499967)

A continuación, se explican cada una de estas manifestaciones de la contaminación lumínica:

Dispersión hacia el cielo: se origina por una mala instalación de las luminarias o también por sobre iluminación, dado que la luz interactúa con las partículas del aire, se desvía en todas direcciones (halo luminoso), disminuyendo la oscuridad de los cielos. Asimismo, puede suceder que la luz utilizada emita en un espectro no útil para el ojo humano, pero que afecta a otros seres vivos. Por ejemplo, la luz blanco-azulada es la que más altera la conducta de las especies de vida nocturna y también obstaculiza la observación astronómica.

Intrusión lumínica: cuando la luz artificial procedente de la calle o de otras edificaciones, entra por las ventanas invadiendo el interior de las viviendas o edificios, alterando de esta forma el interior del hogar o del espacio. Este problema puede alterar los ciclos de sueño o descanso, así como también la concentración de las personas.

Deslumbramiento: cuando la luz de una fuente artificial incide directamente sobre el ojo, producto de una sobre iluminación o de una luz muy blanca. El deslumbramiento puede producir accidentes de tránsito y también disminuyen la capacidad de visión de los peatones. (<https://luminica.mma.gob.cl/que-es-la-contaminacion-luminica/>)

2.2.2. Aspectos biológicos de la luz

Etimológicamente, la palabra luz viene del latín lux y este a su vez del griego liki, que significa alba o luz. Para algunos lingüistas las voces lux y liki derivan de la raíz indoeuropea leuk. En otras lenguas se usan denominaciones que ponen de manifiesto el origen común de esta palabra: light en inglés, licht en alemán antiguo, leukhtam en lituano, llum en catalán o ljus en sueco.

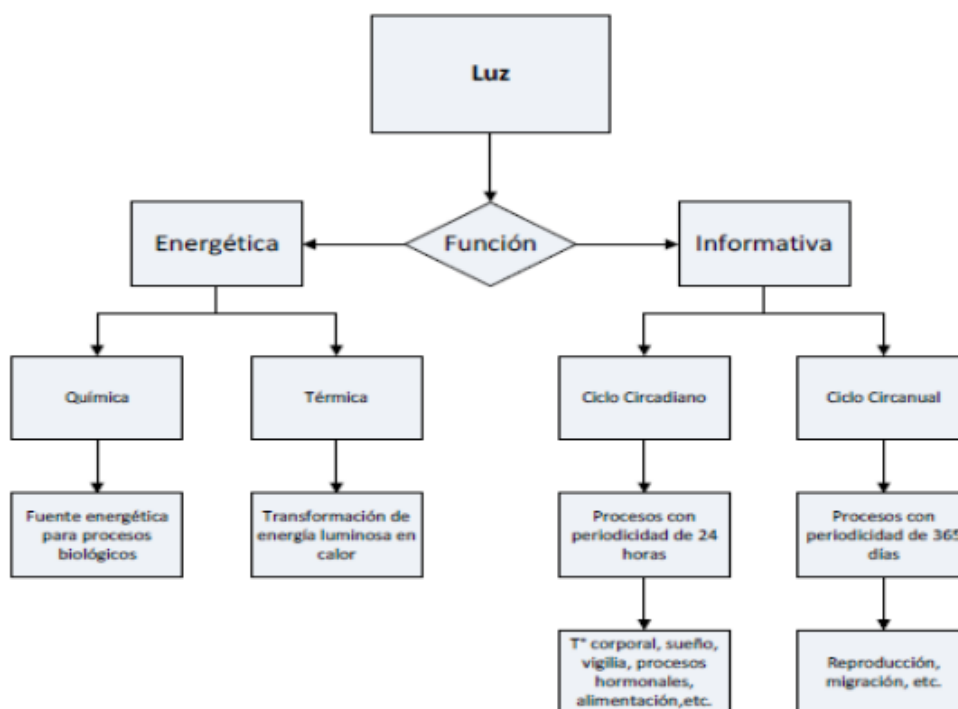
La luz forma parte de la historia del planeta desde sus inicios en el universo. Le ha servido al ser humano no solo para cubrir sus necesidades primordiales sino también ha formado parte de diversos acontecimientos naturales claves en su subsistencia como la fotosíntesis. En relación a lo expuesto, Boehmwald (2019) cita a diversos autores, quienes mencionan lo siguiente:

La luz es aquel tipo de radiación o fracción visible del espectro solar que corresponde la as ondas electromagnéticas entre los 360 y 760 nanómetros, y que comprende desde el 40% al 60% del total de radiación solar recibida por la Tierra (Donoso 2008). La luz ha estado presente en nuestro planeta a lo largo de toda su historia con diferente temporalidad, intensidad y composición espectral (Kohen et al. 1995, K. Gaston 2013) y ha sido una de las variables ambientales que más ha influenciado en los procesos ecológicos y evolutivos de los seres vivos (Olof 2008; Kohen et al. 1995), evidenciando por un lado, un rol como recurso capaz de sustentar diversos procesos del medio natural, tales como el calentamiento de la superficie terrestre o el calentamiento de las capas inferiores de la atmósfera o también como

insumo en los procesos de fotosíntesis , pero además representa una importante fuente de información para los seres vivos, ya que no solo permite que los distintos organismos puedan reconocer su entorno, sino que también influye significativamente en procesos fisiológicos y conductuales, determinados estos por los patrones de luz y oscuridad, que los seres vivos perciben a partir de los ciclos astronómicos fundamentales, los cuales dependen de las características astronómicas de la tierra (Saavedra et al. 2013: K. Gastón et al. 2013). (p.5)

Definitivamente, la luz ha resultado ser un componente vital para los seres vivos. Se le relaciona a la energía que es emitida por la gran estrella de la Vía Láctea, más conocida como el Sol. Como parte de los aspectos biológicos de la luz, se considera importante el siguiente esquema que muestra las funciones de la luz, desde el punto de vista energético e informativo.

Figura N°3: Función biológica de la luz, desde la mirada energética e informativa.



Fuente: Boehmwald (2019, p.6)

En cuanto a la figura 3, Boehmwald (2019) cita a K. Gaston et al. (2013), quien señala:

Que se ha logrado determinar que la luz para ser captada e interpretada debe cumplir con tres rasgos fundamentales: Intensidad de la luz, Calidad de la luz o espectro y Distribución temporal y espacial

Estas variables forman parte de los ciclos naturales de la luz, definidos por las características astronómicas de la tierra, y que determinan las proporciones de luz y oscuridad que afectan los ritmos biológicos de los seres vivos, desde el punto de vista de la periodicidad de estos, como son ciclos diarios o anuales. Estas respuestas de los organismos vivos a la luz están dadas generalmente por la capacidad de estos de detectar la duración del día y la noche, lo que guarda estrecha relación con la sincronización propia de la zona geográfica donde estos habitan. (p.6)

2.3 Incidencia de la luz sobre los materiales

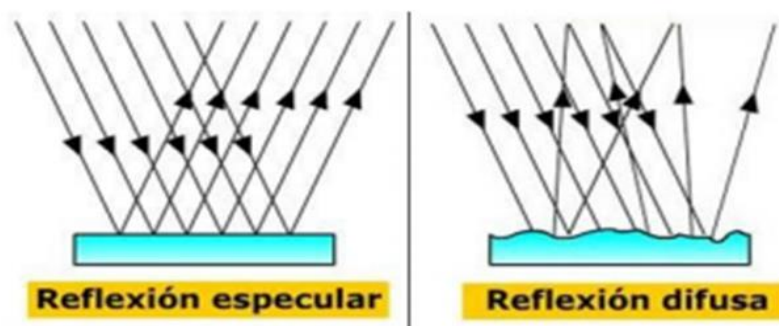
La incidencia de la luz en la materia origina los fenómenos físicos de reflexión, refracción, absorción, transmisión y polarización. El conocimiento de estos fenómenos físicos es fundamental tanto en el diseño de materiales en las luminarias exteriores como en el análisis de la emisión de la luz artificial (origen de la contaminación lumínica) hacia el cielo, ya que la reflexión y la refracción junto con la emisión directa, son las principales formas de difusión de la luz artificial hacia el cielo.

Reflexión: La reflexión es el cambio de dirección que experimenta la luz al chocar con un cuerpo. Si la superficie en la que se refleja la luz es perfectamente lisa y brillante o pulida, todos los rayos salen en la misma dirección produciéndose una reflexión especular. Esta forma de reflexión se produce en los espejos o en las superficies de agua totalmente lisas y en calma. En luminotecnica para obtener una reflexión especular se utilizan luminarias de aluminio anodizado y plásticos o vidrios aluminizados o plateados y espejos. La reflexión especular está regida por dos leyes fundamentales:

- 1ª. “El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano”.
- 2ª. “El ángulo de incidencia y reflexión son iguales”.

Si la superficie en la que se refleja la luz es rugosa y mate, la luz reflejada se dirige en todas direcciones. Las paredes de yeso o escayola y la nieve son ejemplos de superficies que producen reflexión difusa. En el diseño de luminarias se utilizan difusores de policarbonato que producen una reflexión difusa y evitan deslumbramientos.

Figura N°4: Diferencia entre la reflexión especular y difusa.

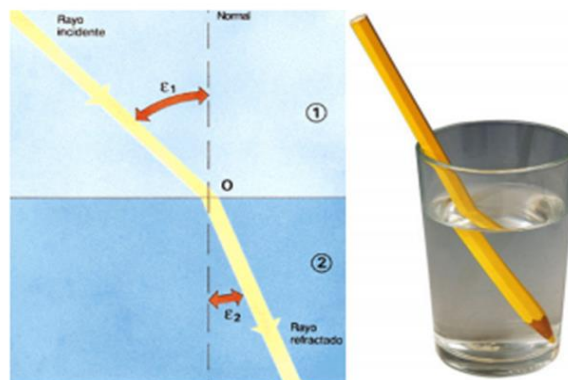


Fuente: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4539/tfm382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Finalmente, la reflexión será mixta cuando la luz incide en una superficie que no es ni especular ni difusa, sino una combinación de ambas. En iluminación la mayoría de los difusores son de reflexión mixta.

Refracción: Definimos la refracción como el cambio de dirección que experimenta la luz, cuando pasa de un medio a otro, debido a la variación de la velocidad de la onda de un medio a otro (diferencia del índice de refracción).

Por tanto, a mayor índice de refracción menor velocidad de la luz en ese medio. En la figura 5 se observa como al producirse un cambio de velocidad y dirección de la luz al pasar de un medio a otro, el lápiz presenta una apariencia distorsionada.

Figura N°5: Fenómeno de refracción**Ilustración 5.** Fenómeno de refracción.

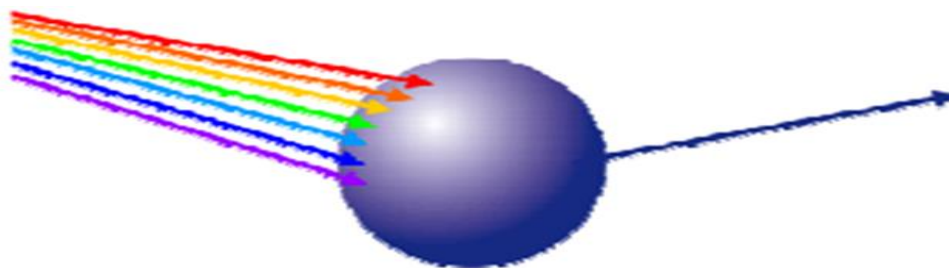
Fuente: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4539/tfm382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

La refracción se rige por las Leyes de Snell, cuyos enunciados son:

- 1ª. “La razón del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción, es una constante, que depende de los dos medios pertinentes y de la longitud de onda de la luz incidente”.
- 2ª. “El ángulo incidente, el ángulo reflejado y la normal se encuentran en el mismo plano”.

Absorción: La propiedad que poseen los cuerpos para absorber las radiaciones en mayor o menor proporción provocando una pérdida de luz se denomina absorción.

Por ejemplo, como se aprecia en la figura 6, un objeto azul absorbe todas las longitudes de onda de la luz del sol, excepto la que corresponde al color azul, que es reflejada por el objeto y capturada por nuestra retina.

Figura N°6: Absorción de la luz**Ilustración 6.** Absorción de la luz.

Fuente: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4539/tfm382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Por otra parte, si tenemos un cuerpo capaz de reflejar todos los colores del espectro visible y se ilumina con una luz blanca, éste aparecerá de color blanco, pero si es iluminado con una luz monocromática amarilla, reflejará esta luz y lo veremos amarillo. Por el contrario, si el cuerpo tiene la propiedad de absorber todas las radiaciones que recibe, independientemente de la luz con la que lo iluminemos (luz blanca, monocromática amarilla, monocromático azul...) lo veremos negro.

Transmisión: La transmisión es la propagación a través de un medio, sin que se produzcan cambios ni alteraciones de la frecuencia de sus componentes monocromáticos ni en otras características. Este fenómeno está asociado a vidrios, cristales y algunos líquidos como el agua. Se puede considerar la transmisión como una doble refracción.

Dependiendo de la transparencia de los materiales distinguimos tres tipos de transmisión.

1. Transmisión regular. En este caso, la luz que incide sobre un medio, sale de él sin variar sus características. Este efecto se produce en los cuerpos transparentes, de modo que permiten ver los objetos colocados detrás de ellos con gran nitidez. Son ejemplos de cuerpos transparentes el cristal y el vidrio orgánico, utilizados en luminotecnia.
2. Transmisión difusa. En la transmisión difusa el haz incidente se difunde por el medio, abandonando el mismo en múltiples direcciones. Estos medios se denominan traslúcidos y son utilizados en luminotecnia como difusores de la luz.
3. Transmisión mixta. Nos encontramos ante el caso de una transmisión entre regular y difusa donde no se distingue con precisión los objetos colocados detrás de ellos, aunque sí su posición.

Polarización: La luz es una onda electromagnética transversal, es decir, la vibración (los campos eléctrico y magnético) es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Si una onda luminosa que se propaga en la dirección z no está polarizada, el campo eléctrico puede tener cualquier dirección contenida en el plano perpendicular al eje z . Pero si la dirección del vector campo es siempre paralela a una línea fija del espacio, se dice que la onda está polarizada linealmente.

La polarización es muy importante en el diseño de las luminarias ya que se puede llegar a conseguir reducir los deslumbramientos.

2.4 Magnitudes luminosas

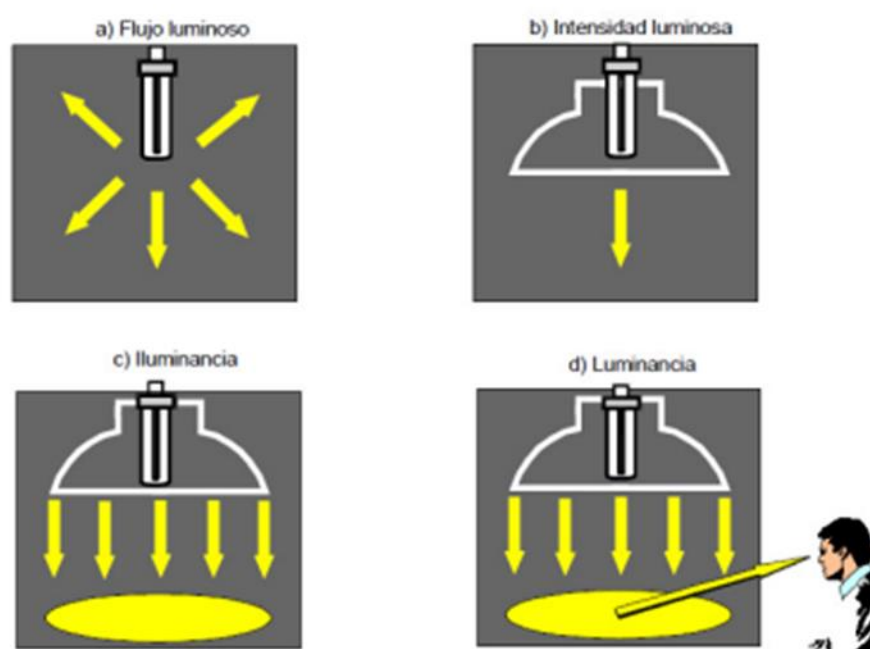
Teniendo en cuenta que la luz es una radiación que emite y transporta energía en forma de ondas electromagnética, es necesario conocer, por un lado, las magnitudes radiométricas encargadas de la medida de las radiaciones electromagnéticas y por otro las magnitudes fotométricas encargadas de la cuantificación de la parte del espectro electromagnético que el ojo humano percibe como sensación luminosa.

a) Magnitudes radiométricas

- 1- Energía radiante. Es la energía emitida, transportada o recibida en forma de radiación. Su símbolo es Q_e y su unidad de medida es el julio (J).
- 2- Flujo radiante. Es la energía emitida, transportada o recibida en forma de radiación por unidad de tiempo, cuya unidad de medida es el watio (W).
- 3- Irradianza. Definimos la irradianza como el flujo radiante recibido por unidad de área (W/m^2).
- 4- Intensidad radiante. Es el flujo radiante emitido por un manantial puntiforme, en una dirección bajo un ángulo sólido, que contiene dicha dirección. Su unidad de medida es el watio partido por estereorradián (W/sr).
- 5- Radiancia. La radiancia es la relación entre la intensidad radiante de un emisor en una dirección determinada y la superficie del emisor, proyectada según dicha dirección. Su unidad de medida es el watio partido por metro cuadrado y estereorradián ($W/m^2 sr$).

b) Magnitudes fotométricas

- 1- Flujo luminoso. Entendemos flujo luminoso como la cantidad total de luz radiada en todas las direcciones por una fuente luminosa, durante la unidad de tiempo. El flujo luminoso se mide en lúmenes (lm).
- 2- Intensidad luminosa. A diferencia del flujo luminoso, la intensidad luminosa es la cantidad de luz emitida por unidad de tiempo, pero en una única dirección. Su unidad de medida es la candela (cd).
- 3- Iluminancia. La iluminancia es la cantidad de flujo luminoso incidente por unidad de superficie del objeto iluminado, siendo su unidad de medida el lux(lx).
- 4- Luminancia. La definimos como la relación entre la intensidad luminosa procedente de una fuente de luz primaria (producen la luz que emiten) o secundaria (reflejan la luz de otra fuente) y la superficie aparente vista por el ojo en una determinada dirección. Su unidad de medida es la candela partido por el metro cuadrado (cd/m²).

Figura N°7: Imágenes ilustrativas de los conceptos**Ilustración 7.** Imágenes ilustrativas de los conceptos a) Flujo luminoso, b) Intensidad luminosa c) Iluminancia y d) luminancia.

Fuente: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4539/tfm382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

2.5 Importancia del color

El color es una propiedad de la luz. La percepción del color de un objeto depende de la composición espectral de la luz y de las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de los cuerpos. Es decir, el conjunto de sensaciones monocromáticas aditivas que nuestro cerebro interpreta como color de un objeto depende de la composición espectral de la luz con la que se ilumina y de las propiedades ópticas que posea el objeto para reflejarla, refractarla o absorberla.

Los agentes que intervienen en el proceso de percepción del color de los objetos son la fuente de luz, el objeto visualizado, el ojo y nuestro cerebro. Todos estos elementos intervienen en la sensación final de modo que variaciones de cada uno de los componentes influyen directamente en el resultado final.

En relación a la fuente de luz, el espectro que no presenta interrupción en su composición, es decir está constituido por todas las radiaciones del espectro electromagnético visible (rango de 380-780nm) es denominado continuo. Ejemplos de espectro continuo son la luz del día o las emitidas por las lámparas incandescentes. En estos casos, la sensación cromática de un cuerpo iluminado por un espectro continuo es de percepción del color verdadero.

Por el contrario, un espectro discontinuo, es aquel que muestra interrupciones en la composición de radiaciones del espectro visible. A modo de ejemplo tenemos las lámparas de descarga. La sensación cromática de un objeto iluminado por un espectro discontinuo es de percepción de color falseado. (Ver imagen).

Figura N°8: Espectro continuo y discontinuo

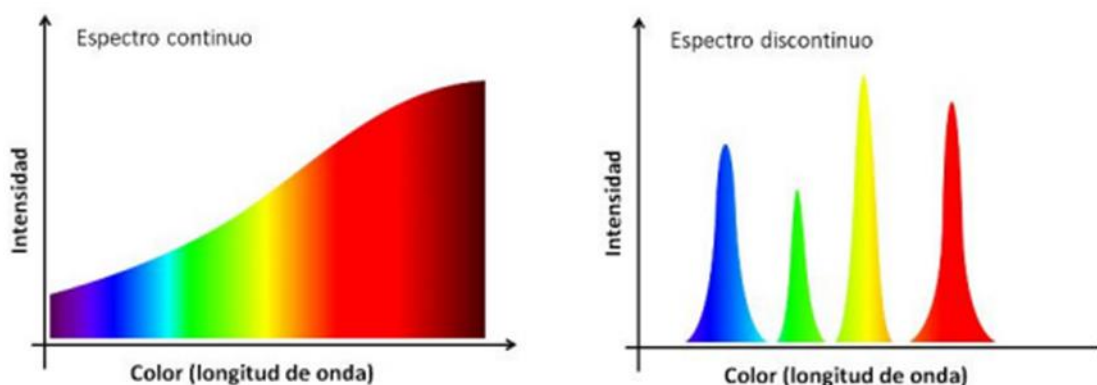


Ilustración 8. Espectro continuo y discontinuo.

Fuente: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4539/tfm382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

La evaluación subjetiva de las superficies de los objetos, tal y como son percibidas por el ojo, se interpretan en función de los atributos o cualidades del color. Éstas son:

- a) Claridad o esplendor.** Definida por la radiación luminosa que recibimos según la iluminancia que posea el objeto. Un objeto es más claro cuanto más se aleja su color del negro en la escala de grises. Hace referencia a la intensidad que emite la fuente de luz. Un mismo objeto puesto a la luz o la sombra solo se diferencia por su claridad.
- b) Tono o matiz.** Nombre común del color (rojo, amarillo, verde, etc.). Hace referencia a la longitud de onda del color predominante.

b) Pureza o saturación. La proporción en que un color está mezclado con el blanco. Hace referencia a la pureza espectral. Un color monocromático espectral tiene la mayor saturación, mientras la luz blanca es un color completamente no saturado.

Se estima que se pueden detectar unos diez millones de colores, por lo que se hace necesaria una organización lógica de los mismos. Para evitar la evaluación subjetiva del color el C.I.E (Comité Internacional de la Iluminación) aprobó un diagrama cromático, que se emplea para tratar cuantitativamente las fuentes de luz, las superficies coloreadas, las pinturas, los filtros luminosos, etc.

Este sistema define cualquier color según las coordenadas x , y , z , denominadas “Coordenadas de cromaticidad”, según la figura 9

Figura N°9: Diagrama cromático CIE

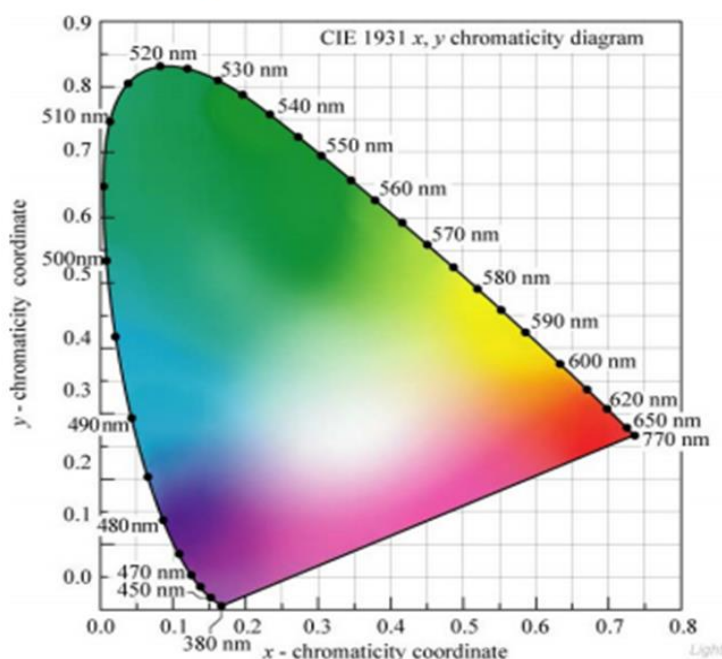


Ilustración 9. Diagrama cromático CIE.

Fuente: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4539/tfm382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Como parámetros que definen el color tenemos la temperatura de color y el índice de reproducción cromática:

Temperatura del color (T_c). La temperatura de color es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de ésta con el color del cuerpo negro, es decir, del “radiante perfecto teórico” (radia toda la energía que percibe). Como cualquier otro cuerpo incandescente, el cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura, adquiriendo al principio, el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo y finalmente el blanco, el blanco azulado y el azul.

El color, por ejemplo, de la llama de una vela, es similar al de un cuerpo negro calentado a unos 1800K, y la llama se dice entonces, que tiene una “temperatura de color” de 1800K.

Por ejemplo, las lámparas incandescentes tienen una temperatura de color comprendida entre los 2700 y 3200K.

Por lo tanto, la temperatura de color no es en realidad una medida de temperatura, define sólo color y sólo puede ser aplicada a fuentes de luz que tengan una gran semejanza de color con el cuerpo negro.

Índice de reproducción cromática (IRC). El dato de temperatura de color se refiere únicamente al color de la luz, pero no a su composición espectral que resulta decisiva para la reproducción de colores.

Dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido, pero tener propiedades de reproducción cromática muy diferentes.

El índice de reproducción cromática, caracteriza la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz. El IRC ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de la luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia.

En la práctica se suelen utilizar tres rangos:

1. IRC entre 90 y 100. Excelentes propiedades de reproducción cromática.
2. IRC entre 80 y 90. Buenas propiedades de reproducción cromática.
3. IRC por debajo de 80. Propiedades de reproducción cromáticas moderadas.

Para finalizar este punto, cabe reseñar los efectos psíquicos del color. Está comprobado que el color del medio ambiente produce en el observador reacciones psíquicas o emocionales. Por ello, el emplear los colores de forma adecuada es un tema del mayor interés para los psicólogos, arquitectos, luminotécnicos y decoradores.

Existen experiencias en las que se ha comprobado las sensaciones que producen en el individuo determinados colores. Una de las primeras sensaciones es la de calor o frío, de aquí que se hable de “colores cálidos” y “colores fríos”. Los colores cálidos son los que en el espectro visible van desde el rojo al amarillo verdoso, y los fríos desde el verde al azul. Un color será más cálido o frío según sea su tendencia hacia el rojo o hacia el azul, respectivamente. Los colores cálidos son dinámicos, excitantes y producen una sensación de proximidad, mientras que los colores fríos calman y descansan, produciendo una sensación de lejanía.

Por otra parte, los colores claros animan y dan sensación de ligereza, mientras que los colores oscuros deprimen y producen sensación de pesadez.

Cuando se combinan dos o más colores y producen un efecto agradable, se dice que armonizan.

2.6. Contaminación lumínica

2.6.1. Las causas de la contaminación lumínica

Existen factores que generan la contaminación lumínica. Si bien lo que se busca es dar un servicio a la humanidad cuando se tiene luz artificial para las ciudades, es necesario considerar la clasificación de las causas de la contaminación lumínica que proponen San Martín, Solano y Francia (2012, p.16), tal como se detalla a continuación:

- *Emisión directa desde las fuentes de luz.* Es la emisión de luz hacia el entorno oscuro. Puede ser hacia el cielo o hacia un hábitat de seres vivos. Es la causa más importante de contaminación, debido a la intensidad de la fuente contaminante.
- *Reflexión en las superficies iluminadas.* Otra causa de la contaminación lumínica es la reflexión sobre las superficies iluminadas. Calles, monumentos... La reflexión es inevitable si queremos conservar el alumbrado, pero *minimizarse* si se están utilizando niveles lumínicos superiores a los necesarios.
- *Refracción de la luz en las partículas del aire.* Es la causa que tiene una afectación más leve y su caracterización está en estudio actualmente. Se trata de una variación del factor anterior, pero la luz, en lugar de reflejarse en una superficie sólida, se refleja en los átomos y en las partículas de la atmósfera.
- *La energía lumínica del alumbrado artificial es la causa de la contaminación.* Mientras esté funcionando durante la noche, la CL será *inevitable* y, por tanto, no se podrá eliminar. Pero sí se pueden *minimizar* considerablemente sus repercusiones, eliminando el primer factor y minimizando los dos últimos.

En la vida y en sociedad urbana actuales, la necesidad de iluminar está muy aceptada. En estos espacios y tiempos, no se siguen los ritmos naturales de día y noche. Cada vez es más frecuente que un número creciente de actividades humanas se trasladen a horas nocturnas. Este es el caso, por ejemplo, del subministro de mercancías, de determinados viajes y desplazamientos, espectáculos, eventos deportivos...

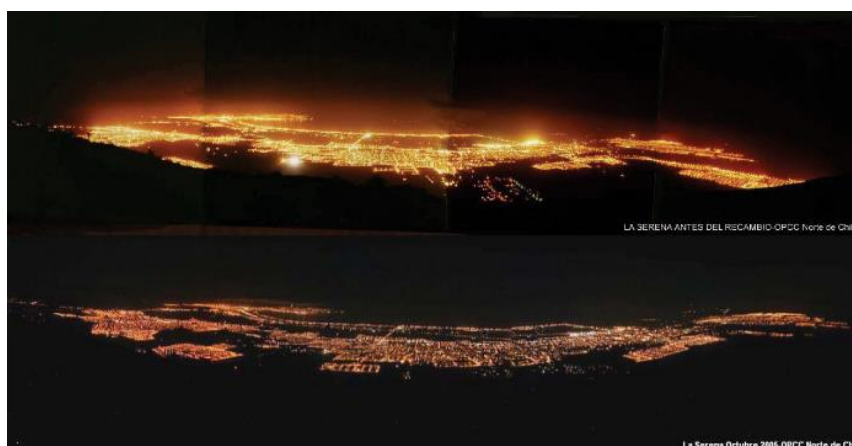
Todas estas actividades nocturnas necesitan el apoyo del alumbrado para:

- Crear unas condiciones de seguridad ciudadana.
- Mejorar la seguridad en la circulación de carreteras, vías, calles...
- Dar fluidez y comodidad de la actividad.
- Evitar riesgos y accidentes en la actividad.
- Permitir la actividad social entre el individuo y aumentar la actividad económica.
- Dar un nuevo aspecto a las ciudades, mediante la iluminación de fachadas, ornamental...
- Etc.

Las figuras 10 y 11 muestran ejemplos de las causas de contaminación lumínica:

Figura N°10: Iluminación directa hacia el cielo.

Fuente: San Martín, Solano y Francia (2012, p.16)

Figura N°11. Influencia de la reflexión sobre el pavimento de las calles

Fuente: San Martín, Solano y Francia (2012, p.16)

2.6.2. Fuentes de contaminación: El alumbrado artificial

Los seres humanos nos hemos acostumbrado a iluminar los espacios públicos y privados para realizar nuestras actividades con seguridad durante la noche. Sin embargo, no toda luz artificial es necesaria, porque el diseño de los sistemas de iluminación nocturna al aire libre no siempre se aprovecha o se ilumina adecuadamente. Por tanto, da como resultado efectos secundarios negativos como el desperdicio, de energía y dinero, e impactos negativos en el medio ambiente nocturno y en los ecosistemas terrestres y marinos (Hoelker et al 2010). El uso excesivo de luz artificial (ALAN) provoca la contaminación lumínica que viene afectando a nuestro planeta desde el siglo XIX. Los primeros que afrontaron dicho problema fueron los astrónomos cuando LAN afectó su trabajo en las ciudades y provocó su desplazamiento progresivo de los observatorios astronómicos de los centros urbanos a zonas remotas como zonas desérticas o montañosas alejadas de cualquier signo de civilización. La comunidad astronómica ha sido la más afectada por la contaminación lumínica, especialmente en estas décadas y la más motivada para luchar contra ella o plantear alguna regulación. Hay varios trabajos que estudian el efecto del brillo celeste debido al ALAN urbano y su gran huella, que afecta el cielo natural sobre áreas rurales y silvestres a una distancia de decenas de kilómetros

de las fuentes generadas (Duriscoe et al, 2014). La intensidad de la luz nocturna, la composición espectral y los componentes espaciales y temporales afectan a varios mecanismos biológicos que regulan y determinan la supervivencia de las especies vivas, como el reloj circadiano, la fotosíntesis, la orientación, la percepción visual y otros que utilizan la luz nocturna natural como recurso y como fuente de información (Gaston et al, 2013). La interrupción del reloj circadiano y a la inducción de la supresión de la melatonina que producen los vertebrados durante la noche es solo un ejemplo de los efectos de ALAN. La interrupción del reloj circadiano afecta, directamente, la salud humana, por ejemplo, al aumentar el riesgo de obesidad y algunos tipos de cáncer (Touitou et al, 2017). Una revisión sistemática que analiza los estudios sobre la sensibilidad de los taxones de vertebrados a los niveles comunes de contaminación lumínica se encontró que la supresión de la melatonina puede ser inducida incluso por bajas intensidades de luz para peces (0.01lux) y roedores (0.03lux) y para los humanos es de 0.002lux (Grubisic et al, 2019). Los ritmos biológicos de algunas especies de aves también se ven afectadas por la contaminación lumínica. Además, la migración de las aves y los movimientos nocturnos de los insectos nocturnos pueden verse perturbados por la alteración de la luz nocturna natural que utilizan para orientarse. ALAN también puede afectar negativamente el comportamiento de alimentación, el éxito del cortejo y apareamiento, y los patrones de oviposición en algunas especies de insectos (McLay et al, 2018). La contaminación lumínica no solo es una amenaza para los ecosistemas terrestres, sino también para el comportamiento y la composición de muchos organismos en los ecosistemas marinos y costeros. Se encontró que la luz directa y resplandor del cielo (mayor a 0.03lux) afecta los patrones de orientación de las crías de las tortugas (Dimitriadis et al, 2018).

Se tiene muchos otros ejemplos de efectos ALAN en los seres vivos que se puede encontrar en revisiones sistemáticas exhaustivas en Bennie et al, 2016; Gaston et al, 2013 y Grubisic et al, 2019. Así como en un análisis de aspectos relacionados con la contaminación lumínica que debería integrarse y mejorarse en la legislación actual (Schroer et al 2020).

2.6.3. Los efectos de la contaminación lumínica

Si bien hay efectos totalmente directos de la contaminación lumínica como el resplandor luminoso nocturno, al cual estamos predispuestos de alguna u otra manera los seres humanos básicamente por el avance comercial de la tecnología, también hay algunos efectos denominados colaterales que en general son producto de la ineficiencia del sistema de iluminación que se tiene a nivel mundial.

A continuación, se presenta una lista de efectos derivados por el fenómeno denominado contaminación lumínica:

Resplandor luminoso nocturno

Se estima que en los últimos veinte años ha habido un crecimiento del consumo para iluminación de exteriores en los países desarrollados de entre el 5% y el 10% anual, lo que ha motivado un aumento generalizado de este tipo de contaminación (Herranz, 2011).

En las figuras 12 y 13, se muestra tal crecimiento en fotos satelitales que corresponden a los años 1992 y 2010 del continente europeo.

Figura N°12: Vista satelital de Europa en el año 1992.



Fuente: NASA

Figura N°13: Vista satelital de Europa en el año 2010.



Fuente: NASA

Efectos diversos

Efectos en la salud humana

Para el ser humano las consecuencias de esta contaminación lumínica no resultan algo positivas que se diga. Al respecto, Moreno y Martín (2016, p.140) exponen:

El hombre está adaptado al seguimiento de un ritmo circadiano, que significa que oscila en un periodo cercano (*circa*) a las 24 horas, con la sucesión del ciclo natural de luz/oscuridad. En el caso de la contaminación lumínica, la excesiva exposición a luz brillante por la noche perjudica el funcionamiento del organismo humano, afectando, sobre todo, a los ritmos de cortisol y melatonina. La producción de estas hormonas se relaciona directamente con la duración de la noche, por lo tanto, cuando se altera el ciclo natural diario con un abuso de luz artificial por la noche, provoca como consecuencia fisiológica directa la supresión de la síntesis de melatonina. El grado de supresión dependerá del momento en que tenga lugar la exposición, la duración de la misma y las características de la luz (luminosidad y longitudes de onda). Son las longitudes de onda en el rango de los 460-480 nm. (luz azul) las que producen mayor inhibición.

La exposición inadecuada a la luz por la noche provoca, pues, una crono disrupción, con una clara alteración de los ritmos circadianos, ocasionando cambios fisiológicos que pueden incrementar el desarrollo de patologías previas o derivar, a largo plazo, en procesos fisiopatológicos que contribuirán a determinadas enfermedades. En numerosos estudios se ha demostrado una relación estadísticamente significativa entre la crono disrupción y el aumento en la incidencia de las enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico, deterioro cognitivo, trastornos afectivos y envejecimiento acelerado. Se ha detectado, además, un aumento del riesgo de padecer determinados tipos de cáncer como el de mama, próstata y colon-rectal en individuos expuestos de forma repetida y/o prolongada a luz excesiva, como ocurre con muchos empleados de los turnos de noche. Aparte del riesgo de una mayor frecuencia de tumores, la inhibición de la melatonina puede contribuir a la progresión o gravedad de toda una serie de enfermedades como las ya mencionadas (Rol, Baño, Martínez, Bonmatí, Ortiz y Madrid, 2011).

Efectos en los animales

La contaminación lumínica tampoco ha dejado que los animales, tales como mamíferos voladores y terrestres, peces, anfibios, etc., queden libres de las consecuencias negativas. Inclusive los insectos, que por lo general son nocturnos y forman parte importante de la biodiversidad en el planeta. En tal sentido es bien conocido como los insectos se sienten atraídos por la luz. Este comportamiento de hiper estímulo conocido como “vuelo a la luz” origina tres efectos: el de cautividad, el de barrera y el de aspiración (Domingo, Baixeras y Fernández, 2011). A manera de interpretación, Moreno y Martín (2016, p. 141), mencionan: En el primer caso, el insecto al sentirse atraído por la luz, queda como capturado o cautivo por ella, de forma que muere extenuado, quemado o depredado, por lo general. En el segundo caso, las fuentes de luz pueden actuar como barreras migratorias o de dispersión, mientras que por el efecto aspirador, los insectos son “extraídos” de sus hábitats naturales. Entre los insectos afectados por este tipo de polución se encuentra, por ejemplo, la mariposa nocturna *Graellsia isabelae*, una especie protegida por la Unión Europea que se ve especialmente atraída por las luces emitidas por las lámparas de vapor de mercurio. Este tipo de lámparas emiten gran cantidad de radiación ultravioleta que provoca la abundancia de insectos voladores alrededor de ellas. Esto se debe a que los insectos, especialmente los nocturnos, son más sensibles que los humanos a las radiaciones azules y ultravioletas, mientras que son

prácticamente ciegos para longitudes de onda superiores a 600 nm. En este sentido, las lámparas de sodio son menos agresivas.

Efectos en las plantas

A nivel de las plantas también se ha sentido las consecuencias del fenómeno denominado contaminación lumínica. Uno de los procesos más importantes en el planeta como lo es la fotosíntesis se ha visto afectada por este fenómeno. Al respecto, Moreno y Martín (2016) exponen:

Sobre la flora los efectos más importantes son, probablemente, los inducidos por la disminución de los insectos en general, así como la de los que realizan la polinización de multitud de plantas con flores que se abren de noche. Otro efecto que provoca la contaminación lumínica es el adelanto de la floración, modificando su ciclo natural. (p. 142)

En términos generales, conforme han pasado los años, específicamente a partir de los años 80 la contaminación lumínica está afectando el medio ambiente, de tal forma se viene alterando la vida tanto para la flora como para la fauna.

Otras consecuencias

En las siguientes líneas podemos notar resultados de proyectos de investigación que pueden determinar la incidencia de estos factores en el ciclo de vida de algunos seres vivos; como, por ejemplo: Ayalon y Col. muestran que la presencia de contaminación lumínica durante la noche conduce a la gametogénesis de los corales y al fracaso de la sincronización del desove.

Debido a la alta tasa de desarrollo urbano en las áreas costeras marinas, una fuente adicional de perturbación antropogénica, como la luz artificial en la noche, puede afectar a los organismos marinos.

En su informe “Colapso de la gametogénesis del coral bajo contaminación lumínica artificial”, concluyen que la luz artificial nocturna (ALAN) puede tener impactos negativos en la salud de los seres humanos y los ecosistemas.

Los organismos marinos, incluidos los arrecifes de coral en particular, dependen de los ciclos de luz natural de la luz solar y la luz de la luna para regular varios procesos fisiológicos, biológicos y de comportamiento. Aquí, demostramos que la contaminación lumínica causó gametogénesis retardada y liberación de gametos no sincronizada en dos especies de coral, *Acropora millepora* y *Acropora digitifera*, del Océano Indo-Pacífico. Dada la urbanización a lo largo de las principales costas, la contaminación lumínica podría amenazar aún más a las poblaciones de las comunidades de coral, que ya se encuentran gravemente degradadas. Se proporciona una evaluación del impacto de la contaminación lumínica con un modelo mundial, que puede ayudar a incorporar una variable importante en la planificación de la conservación de los arrecifes de coral.

El ciclo diario de luz y oscuridad que surge de la rotación de la Tierra es de vital importancia para la biodiversidad. En su informe “Colapso de la gametogénesis del coral bajo contaminación lumínica artificial”, concluyen; La luz artificial nocturna (ALAN) puede tener impactos negativos en la salud de los seres humanos y los ecosistemas.

La luz de las actividades humanas ha aumentado en los últimos 100 años. Poderosas lámparas iluminan calles, patios, estacionamientos, vallas publicitarias, instalaciones deportivas e industriales y edificios de oficinas durante toda la noche. La luz artificial beneficia a la

sociedad humana al extender la duración efectiva del día para el trabajo y las actividades de ocio. Aunque la luz artificial nocturna (ALAN) es uno de los avances tecnológicos humanos más importantes, la alteración de los ciclos de luz natural tiene muchos efectos indeseables. Estos incluyen resplandor del cielo, traspaso de luz, deslumbramiento y sobre iluminación, y se conocen colectivamente como contaminación lumínica. Muchos estudios, de diferentes disciplinas, han demostrado que la contaminación lumínica es una de las formas de contaminación ambiental de más rápido crecimiento y más generalizadas.

Se ha demostrado que la exposición a ALAN altera la fisiología de los organismos a través de impactos en el ciclo circadiano de secreción hormonal, ciclo celular, metabolismo y otros mecanismos fisiológicos. Aunque muchos estudios han examinado los efectos negativos de ALAN en los ecosistemas terrestres, la salud humana y los procesos biológicos y fisiológicos, el impacto de la contaminación lumínica ecológica en los ecosistemas marinos ha recibido mucha menos atención. Los ciclos naturales de luz y oscuridad actúan como un factor exógeno que afecta a los organismos marinos en muchos procesos biológicos, fisiológicos y de comportamiento, como la fotosíntesis y la división de la actividad entre el día y la noche, incluida la reparación y recuperación de la oscuridad.

Los organismos utilizan ampliamente las características espectrales de la luz natural como fuentes de información sobre su ubicación; hora del día, mes y año; y las características de su entorno natural. La luz artificial puede enmascarar esta información y proporcionar pistas engañosas que afectan el reloj biológico, el fotoperiodismo, la orientación espacial y la percepción visual.²

Aquí, mostramos que ALAN puede tener un gran efecto sobre la gametogénesis y la sincronización de la liberación de gametos en dos especies de coral prominentes del Océano Indo-Pacífico. Nuestros hallazgos muestran que el ciclo de gametogénesis de ambas especies de coral fue retrasado o enmascarado por la exposición a la luz artificial, lo que llevó a la liberación de gametos no sincronizada. Además, utilizamos un modelo skyglow para evaluar el impacto global de la luz artificial en los arrecifes de coral a escala regional, que podría implementarse como una herramienta para la conservación de los arrecifes de coral y marinos.

Los arrecifes de coral tropicales se encuentran entre los ecosistemas biológicamente más diversos y productivos de la Tierra; su estructura proporciona un marco, ofreciendo un hábitat único para miles de especies asociadas. Desafortunadamente, los arrecifes de coral también se encuentran entre los ecosistemas marinos más degradados. En los últimos años, los ecosistemas de arrecifes de coral en todo el mundo han estado sujetos a un deterioro sin precedentes como resultado de actividades antropogénicas mal gestionadas, pérdida de hábitat, cambio climático y acidificación de los océanos. Producción y fertilización exitosas de gametos, desarrollo de descendencia viable y supervivencia de nuevos reclutas de coral. dieciséis son posiblemente los procesos más importantes para reponer los arrecifes de coral degradados. Además, la reproducción sexual mantiene las poblaciones de coral y apoya los procesos evolutivos, (Biología actual 31, 413–419, 25 de enero de 2021 ^a 2020 Elsevier Inc. 413)

En el trabajo de investigación denominado “Contaminación lumínica en interiores y progresión de la aterosclerosis carotídea: un estudio longitudinal de la cohorte HEIJO-KYO”, se sugirió una asociación significativa entre la intensidad de la LAN en la habitación y la progresión de la aterosclerosis carotídea subclínica, que era independiente de los factores de riesgo conocidos de aterosclerosis, como la edad, la obesidad, el tabaquismo, el nivel económico, la hipertensión, y diabetes. La contaminación lumínica en interiores puede ser un

factor de riesgo potencial de aterosclerosis en la población general. Deben realizarse más estudios a largo plazo para evaluar la asociación entre la contaminación lumínica en interiores y la incidencia de enfermedades cardiovasculares. (Obayashi et al., 2015)

La exposición a la luz en momentos inadecuados en relación con el ciclo solar puede alterar los ritmos circadianos endocrinos y metabólicos. Estudios anteriores han sugerido una asociación entre la exposición a la luz nocturna (LAN) y la obesidad, un factor de riesgo importante de aterosclerosis, aunque no está claro si la LAN se asocia con la progresión de la aterosclerosis. Para evaluar la asociación longitudinal entre la intensidad de la LAN del dormitorio y la progresión de la aterosclerosis carotídea, se midió la intensidad de la luz en el dormitorio al inicio del estudio y el grosor de la íntima-media de la arteria carótida (GIM) al inicio y el seguimiento en 989 participantes ancianos (945 al inicio y 780 en una mediana de seguimiento de 34 meses). La edad media de los participantes fue de $71,4 \pm 6,9$ años. El IMT carotídeo medio y máximo promedio al inicio del estudio fue de $0,88 \pm 0,15$ y $1,10 \pm 0,32$ mm, respectivamente. La intensidad media de la LAN del dormitorio fue de 0,68 lx (IQR, 0,07–3,29). En el análisis multivariable ajustado por posibles factores de confusión, el grupo de LAN más alto mostró un aumento significativo en el IMT carotídeo medio (β ajustado, 0,028; IC del 95%, 0,005–0,052; $P = 0,019$) en comparación con el grupo del cuartil LAN más bajo. Se encontró una relación similar entre LAN y GIM carotídeo máximo (β ajustado, 0,083; IC del 95%, 0,037–0,129; $P < 0,001$).

En conclusión, encontramos una asociación clara y significativa entre la intensidad de la LAN en el dormitorio y la progresión de la arterosclerosis carotídea subclínica, que era independiente de los factores de riesgo conocidos de aterosclerosis, como la edad, la obesidad, el tabaquismo, el nivel económico, la hipertensión y la diabetes. La contaminación lumínica en interiores puede ser un factor de riesgo potencial de aterosclerosis en la población general. (Kyba et al., 2017)

Se ha demostrado que la exposición a luz artificial altera la fisiología de los organismos a través de impactos en el ciclo circadiano de secreción hormona, ciclo celular, metabolismo y otros mecanismos fisiológicos. También, muchos trabajos de investigación están examinando los efectos negativos de la luz artificial en el ecosistema terrestre, la salud humana y los procesos biológicos y fisiológicos, la contaminación lumínica ecológica en los ecosistemas marinos aún no tiene mucha atención. (Gastón et al., 2017)

La exposición a luz artificial en momentos inapropiados en relación con el ciclo solar puede generar la desincronización de los ritmos biológicos circadianos de los ritmos ambientales, porque el sistema de tiempo circadiano humano se ha desarrollado bajo el ciclo solar de 24 horas (Zeitzer et al., 2000). Esta desalineación circadiana se encuentra típicamente en trabajadores en turnos nocturnos, que tienen una alta probabilidad de contraer enfermedades como obesidad, hipertensión, diabetes y aterosclerosis. (Suwazono et al., 2008)

Los ciclos de luz natural, como los ciclos de la luz diaria y lunar, son compartidas por una variedad de organismos, y han son interrumpidas por la luz artificial en las noches. La contaminación de la luz artificial está relacionada con la interrupción de los ritmos circadianos, que son importantes para el desarrollo de los organismos. (Portnov et al., 2016). Para los animales que se desenvuelven libremente en el medio ambiente, la contaminación lumínica es asociada con cambios en los tiempos biológicos, como puede ser en la búsqueda de alimentos, la hora de dormir y en el proceso de comunicación que es el canto. (Davies et al., 2017)

La contaminación lumínica es un contaminante ambiental antropogénico que se está dando con mayor poderío en el mundo. La pérdida de la oscuridad representa una amenaza potencial para la vida silvestre, la biodiversidad y los seres humanos. (Duffy et al., 2015). Esta interrupción de nuestros ciclos naturales de luz y oscuridad, a los que han evolucionado los animales y las plantas, da como resultado una amplia gama de respuestas fisiológicas y de comportamiento. Como en ejemplo en los pájaros cantores, se ha demostrado que la contaminación lumínica reduce los niveles de melatonina, esto genera que los pájaros canten anticipadamente. (Bedrosian et al., 2016)

La iluminación externa nocturna con la luz artificial aumentado de 5-20% por año en muchos lugares urbanos a lo largo de la segunda mitad del siglo XX (Hölker et al., 2010). En Estados Unidos un estudio deslizado en el año 2016 mostro que casi el 80% de la población vivía en áreas donde la apariencia natural del cielo nocturno no se podía observar y casi el 40% vivía en áreas donde la adaptación nocturna de los seres humanos fue invadida por la luz artificial (Falchi et al., 2016). El aumentó en el uso de la luz artificial puede generar consecuencias no deseadas para la salud humana, ya que muchos estudios vinculan al uso de la luz artificia con diversas enfermedades, tales como el cáncer (García et al., 2018), obesidad (Koo et al., 2016), enfermedades cardiovasculares (Obayashi et al., 2015) y depresión ((Minet al.,2018). La exposición a la luz artificial puede suprimir la melatonina, una hormona clave en el ritmo circadiano regulatorio, la falta de esta sustancia genera insomnios (Lunn et al., 2017).

Literatura Citada

- Bedrosian, A., Fonken, K., & Nelson, J.** (2016). Endocrine effects of circadian disruption. *Annu. Rev. Physiol.* 78, 109–131.
- Bennie, J., Davies W., Cruse D. & Gaston, K.** (2016) Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *J Ecol.* 104, 611–20.
- Boehmwald, A.** (2019) La Contaminación Lumínica. Consejo Consultivo Ministerio MedioAmbiente Región BioBío. Chile.
- Dimitriadis, C., Fournari-Konstantinidou, I., Sourbès, L., Koutsoubas, D. & Mazaris, D.** (2018). Reduction of sea turtle population recruitment caused by nightlight: evidence from the Mediterranean region. *Ocean Coast Manag.* 153, 108–15.
- Davies, W., Bennie, J., Inger, R., de Ibarra, N.H. & Gaston, J.** (2013). Artificial light pollution: are shifting spectral signatures changing the balance of species interactions. *Global Change Biol.* 19, 1417–1423.
- Duffy, P., Bennie, J., Duran, P. & Gaston, J.** (2015). Mammalian ranges are experiencing erosion of natural darkness. *Sci. Rep.* 5, 120-142.
- Duriscoe, D., Luginbuhl, C. & Elvidge, C.** (2014). The relation of outdoor lighting characteristics to skyglow from distant cities. *Light Res Technol.* 46, 35–49
- Falchi, F. Cinzano, P. & Duriscoe, D.** (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Sci Adv* 2, 6-8.
- Garcia-Saenz, A., Sanchez, A., Espinosa, A., et al.,** (2018). Evaluating the association between artificial light-at-night exposure and breast and prostate cancer risk in Spain (MCC-Spain study). *Environ. Health Perspect.* 126, 4-10
- Gaston, J. Bennie J, Davies, W. & Hopkins, J.** (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biol Rev.* 88, 912–927.
-

- Gaston, J., Davies, W., Nedelec, L. & Holt, A.** (2017). Impacts of artificial light at night on biological timings. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 48, 49–68.
- Grubisic, M., Haim, A., Bhusal, P., Dominoni, M., Gabriel, A., Jechow, A., Kupprat, F., Lerner, A., Marchant, P. & Riley W.** (2019) Light pollution, circadian photoreception, and melatonin in vertebrates. *Sustainability*.
- Hölker, F., Moss, T. & Griefahn, B.** (2010). The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. *Ecol. Soc.* 15 (4).
- Hoelker, F., Wolter, C., Perkin, K. & Tockner, K.** (2010). Light pollution as a biodiversity threat. *Trends Ecol Evol.* 25(12): 681–2.
- McLay, K., Nagarajan-Radha, V., Green, P. & Jones, M.** (2018). Dim artificial light at night affects mating, reproductive output, and reactive oxygen species in *Drosophila melanogaster*.
- Kyba, M., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Holker, F., Bennie, J., Elvidge, D., Gaston, J. & Guanter, L.** (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Sci. Adv.* 3, 1701528.
- Koo, S., Song, Y. & Joo, Y.** (2016). Outdoor artificial light at night, obesity, and sleep health: cross-sectional analysis in the KoGES study. *Chronobiol. Int.* 33 (3), 301–314.
- Lunn, M., Blask, E. & Coogan, N.** (2017). Health consequences of electric lighting practices in the modern world: a report on the National Toxicology Program's workshop on shift work at night, artificial light at night, and circadian disruption. *Sci. Total Environ.* 607–608, 1073–1084
- Min, Y. & Min, B.** (2018). Outdoor artificial nighttime light and use of hypnotic medications in older adults: a population-based cohort study. *J Clin Sleep Med* 14 (11), 1903–1910.
- Obayashi, K., Saeki, K. & Kurumatani, N.** (2015). Light exposure at night is associated with subclinical carotid atherosclerosis in the general elderly population: the HEIJO-KYO cohort. *Chronobiol. Int.* 32 (3), 310–317
- Portnov, A., Stevens, G., Samociuk, , Wakefield, D., & Gregorio, I.** (2016). Light at night and breast cancer incidence in Connecticut: an ecological study of age group effects. *Total Environ. Sci.*
- San Martín, R., Solano, H. & Francia, P.** (2012) Contaminación Lumínica. Una visión desde el foco contaminante: el alumbrado artificial. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Schroer, S., Huggins, J., Azam, C. & Hölker, F.** (2020). Working with inadequate tools: legislative shortcomings in protection against ecological effects of artificial light at night. *Sustainability*. 12, 2551.
- Suwazono, Y., Dochi, M., Sakata, K., Okubo, Y., Oishi, M., Tanaka, K., Kobayashi, E., Kido, T. & Nogawa, K.** (2008). A longitudinal study on the effect of shift work on weight gain in male Japanese workers. *Obesity* 16, 1887–1893.
- Touitou, Y., Reinberg, A. & Touitou, D.** (2017). Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation, and the internal clock: Health impacts and mechanisms of circadian disruption. *Life Sci.* 173, 94–106.
-

Zeitzer, J.M., Dijk, D.J., Kronauer, R., Brown, E. & Czeisler, C. (2000). Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *J. Physiol.* 526, 695–702.

- <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4539/tfm382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/11-contaminacion-luminica.pdf>
- <https://www.greenglobe.es/contaminacion-luminica/>
- <https://www.actualidadambiental.pe/que-es-la-contaminacion-luminica-y-cual-es-su-relacion-con-citybike-de-san-isidro-y-miraflores/>.
- https://www.google.com/search?q=aspectos+fisicos+de+la+contaminacion+luminica+pdf&rlz=1C1UUXU_esPE943PE943&ei=YLDwYK-fi4nA5OUP2cGquAo&oq=aspectos+fisicos+de+la+contaminacion+luminica+pdf&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAM6BwgAEEcQsAM6BQghEKABOggIIRAWEB0QHjoHCC EQChCgAUoECEEYAFDfI1iqKmCOLWgBcAJ4AIAB5QGIAd8FkgEFMS4zLjGY AQCgAQGqAQdnd3Mtd2l6yAEIwAEB&sclient=gws-wiz&ved=0ahUKEwivz7b6iebxAhUJILkGHdmgCqcQ4dUDCA4&uact=5#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20lum%C3%ADnica.%20Aproximaci%C3%B3n,ucm.es%20%E2%80%BA%20OBMD%20%E2%80%BA%20article
- http://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v19_n3_a1-Luis-de-la-Pen%CC%83a.pdf
- <https://luminica.mma.gob.cl/que-es-la-contaminacion-luminica/>

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Por:

Juan Diego Erazo Rodríguez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Manuel Antonio Flores Izquierdo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Roció Del Pilar Solís Pillaca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Raúl Alberto Nakandakare Aparicio
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

3. Instrumentos de medición de la contaminación lumínica

Teniendo como punto de partida las diferentes aristas de la contaminación lumínica y de los efectos negativos para el ambiente, la humanidad, diferentes investigadores del tema han señalado la importancia de la métrica correspondiente. Este capítulo presenta los resultados del estudio del estado del arte de la instrumentación vinculado a la medición de la contaminación lumínica, esta selección se realizó contextualizándola en diversos entornos como astronomía, medio ambiente, etc. Es importante señalar que a través de los años se producen cambios y novedades en la aparición de nuevos instrumentos o propuestas de medición referidas a la contaminación lumínica.

Solano (2010), en su investigación “Medición de la contaminación lumínica en espacios naturales: propuesta de un modelo predictivo”, buscó como objetivo inicial realizar una serie de evaluaciones que analizaran las variables que afectan directamente a áreas naturales expuestas a el tipo de contaminación lumínica. Para después utilizar los datos en una base de datos y desarrollar una propuesta de modelo para la caracterización de la contaminación lumínica en zonas afectadas por la iluminación artificial nocturna que provienen de focos contaminantes identificados.

Para la evaluación de Solano (2010), se seleccionaron diferentes instrumentos que están adecuados para llevar a cabo una serie de mediciones lumínicas y recolección de datos de acuerdo a las variables que afectan y son reconocidos en zonas determinadas próximas a los focos de influencia, además se realizó la investigación en diferentes locaciones de México y España. Las locaciones fueron escogidas por la principal característica de ser zona natural y de acuerdo a los factores que pueden afectarlas.

Se realizó la recreación de mapas lumínicos de superficie de las áreas estudiadas y se buscó la tendencia en los datos recolectados, apoyándose en herramientas estadísticas de correlación paramétrica.

Después de la recolección de datos, la investigación se abocó a la búsqueda de un protocolo para de ejecutar la propuesta del modelo con la cual fuera posible establecer el grado de intensidad de luz, en cualquier área de los espacios afectados por la contaminación lumínica evaluadas, proveniente de los focos contaminantes cercanos a dichos puntos estudiados. La propuesta fue desarrollada teniendo en cuenta las metodologías similares ya existentes y el tratamiento de los datos obtenidos con las herramientas utilizadas.

3.1. Luminancímetro

El luminancímetro es un instrumento que se utiliza en mediciones de luminancia, el cual posee dos sistemas ópticos donde el primero es de dirección y el segundo es de medición. El sistema de dirección permite al instrumento orientarlo para que coincida con el punto objetivo a medir. El sistema de medición presenta una lente la cual accede a la intensidad luminosa y un sensor que reacciona ante esa intensidad. Generalmente otorga las medidas en Cd/m². En

general los luminancímetros son utilizados en técnicas de escenas fotográficas, diseño de iluminaciones y utilizado pocas veces por astrónomos en cálculo de la contaminación lumínica.

Solano (2010), citando a Lizuka e Isobe (1998), precisa que este instrumento se ha utilizado para calcular las luminancias del horizonte de las ciudades como por ejemplo las comparaciones entre la ciudad de Kyoto (Japón) totalmente iluminada y la misma ciudad en los periodos de baja de iluminación pública. Utilizando un luminancímetro y fotografía fotométrica.

Figura N°1: Ejemplo de luminancímetros



3.2. Sky Quality Meter

El instrumento Sky Quality Meter (SQM) de la empresa Unihedron es un fotómetro manual que permite que los investigadores cuantifiquen el brillo del cielo. Con un diseño compacto y portátil, este instrumento permite cuantificar cómodamente la calidad del cielo nocturno. La característica del instrumento está en que cuenta con un filtro infrarrojo, por lo tanto, el SQM sólo tiene en cuenta la radiación correspondiente al espectro visible a la hora de hacer las mediciones, otorgando sus resultados en unidades de magnitudes por segundo de arco al cuadrado ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$). (Unihedron 2007) citado por Solano (2010).

Para utilizar el instrumento se debe sostener el SQM dirigiéndolo hacia el cenit y presionando el botón rojo (grabar). En el transcurso de algunos segundos la unidad presenta la medición por medio de un número. El resultado obtenido indica que entre más grande es el número, más oscuro es el cielo. Como ejemplo, un resultado de medición de 21.00 indicaría un sitio muy oscuro, en otro caso una lectura de 16.00 indicaría contaminación lumínica. En conclusión, el SQM mide cuánta luz (que viene adentro de un cono de cerca de 80 grados de ancho) llega al sensor del instrumento de medición, entonces el equipo convierte esa cantidad de luz en unidades de magnitudes por el cuadrado de arco-segundo, que no son obviamente fáciles de visualizar. Para la lectura de la visión de noche, el autor indica que se creó un nombre más común para las unidades de SQM, estos son llamados los "squims." Entonces, por ejemplo, si el instrumento lee 18.75 magnitudes por el cuadrado de arco- segundo, esta se describe como "18.75 squims."

Figura N°2: El SQM y las instrucciones para su correcto uso

Fuente: Unihedron (2007)

Además de lo explicado, se indica a los investigadores que deben asegurar que las luces próximas no estén dentro del cono de detección del sensor del instrumento. También se debe tener en cuenta que la luz de la luna no debe influenciar la oscuridad del cielo, que es indicada por la línea de la oscuridad de un reloj claro del cielo. Para las lecturas de SQM estas se deben tomar después del crepúsculo astronómico, cuando el sol no contribuye a ningún aumento de la luz del cielo de noche. (Unihedron, 2007) citado por Solano (2010).

3.3. Videofotómetros con tecnología CCD

Solano (2010) explicó que el videofotómetro, con tecnología CCD (“Charged Coupled Device”, que significa “dispositivo de cargas interconectadas”) es un instrumento que contiene un sensor con diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen evaluada. La capacidad de resolución que tenga el equipo CCD depende del número de células fotoeléctricas que contenga el sensor del equipo. Entonces este número se expresará píxeles. El fundamento del instrumento se explica como un circuito electrónico integrado que contiene un número determinado de condensadores enlazados o acoplados en el mercado existen diferentes instrumentos luminotécnicos que trabajan con dispositivos CCD refrigerados y del orden del mega pixel. Estos equipos funcionan en medidas de luminancia y tienen la ventaja de que con una sola medición realizada pueden tener mucha más información. Esto debido a que, por su circuito CCD integrado, es como si se tuvieran miles de luminancímetros en un solo aparato.

Las consideraciones que se deben tener al momento de usar este equipo están en la visión artificial, esta puede presentar características indeseadas. No obstante, se realizan cada vez más investigaciones y desarrollos para hacerla más efectiva. Los instrumentos con tecnología CCD son de gran apoyo en las investigaciones relacionadas con investigación artificial. Solano (2010) cita a Snyder et al (1995), realizaron una investigación para encontrar la manera de reducir el ruido de las imágenes captadas por medio de las cámaras CCD. Esto lo realizaron concentrándose en la característica que presentan los píxeles captados por los sensores, una estadística Poisson-Gausiana. Así también, el autor cita a Wu y Anderson (1996) donde explica que llevaron a cabo una investigación para generar algoritmos que pudieran eliminar el manchado de las imágenes tomadas por medio de CCD en astronomía.

Estas evaluaciones en astronomía han sido de gran ayuda, para obtener imágenes más nítidas y representar menos la extinción atmosférica en las imágenes recolectadas. Posteriormente, los investigadores de visión artificial con tecnología CCD se centraron en la exactitud que

poseen éste tipo de sensores del equipo con tecnología CCD. Gai et al (2001) citado por Solano (2010), explicaron que finalizaron un trabajo para encontrar las limitaciones en la exactitud que presentaban las cámaras con sensores de tipo CCD, la investigación presentó un enfoque más aproximado a las ciencias astronómicas. Otro uso de los sensores CCD es que también tienen características adecuadas para el estudio del espectro de los colores. Así lo explicó Martínez (2001) quien diseñó un equipo colorímetro tri estímulo a partir de una cámara CCD- RGB. Con este tipo de sensores demuestran características que los hacen bastante superiores a otros tipos de sensores en el mercado. (Solano, 2010).

Los equipos que presentan tecnología de sensores CCD, tienen poco tiempo de haber sido creados desde el 2010, entonces es posible utilizarlos en aplicaciones lumínicas. Sierra (2002) citado por Solano (2010) realizó una investigación para representar las aplicaciones luminotécnicas que tienen las cámaras con tecnología CCD. Con la ejecución de esta investigación se realizaron análisis fotométricos de diferentes tipos de lámparas, llegando a una conclusión que la tecnología CCD es muy eficiente para conocer las características fotométricas de un aparato de alumbrado y representando un bajo coste.

A continuación, después de haberse demostrado la capacidad de los sensores CCD, Solano (2010) explicó que se llevaron a cabo más investigaciones que relacionaban los sensores CCD y la luminotecnica. Asi es el caso de Chiara (2003) citado por el autor, investigador de la Universidad Federico II de Nápoles, quien realizó una investigación de puestos de trabajo con combinación de iluminación artificial y natural, para esta investigación utilizó cámaras con dispositivos CCD. La evaluación de Software enfocado a los sensores CCD llegó tiempo después. En otro caso los astrónomos que estudian el problema de la contaminación lumínica utilizan el programa Paint Shop Pro para mejorar las imágenes que toman en sus investigaciones, este programa descompone la imagen en sus componentes CMYK para después pasarla a blanco y negro con una mejor resolución. Otro programa informático que ayuda a estas mediciones es el mecanismo Cristal Engine, que permite reconocer y procesar de manera altamente precisa los colores RGB gracias a la incorporación de filtros independientes para cada color primario, esto se debe por el sistema de 3 CCD, uno para cada color primario -Rojo, Azul y Verde- de manera independiente en conclusión teniendo en cuenta el Software existente y la tecnología de sensores CCD, Hoyos, D. et al (2005), realizaron un estudio de medición indirecta de radiación por procesamiento digital de imágenes de luminancia. Para la ejecución de su investigación utilizaron cámaras con dispositivos CCD.

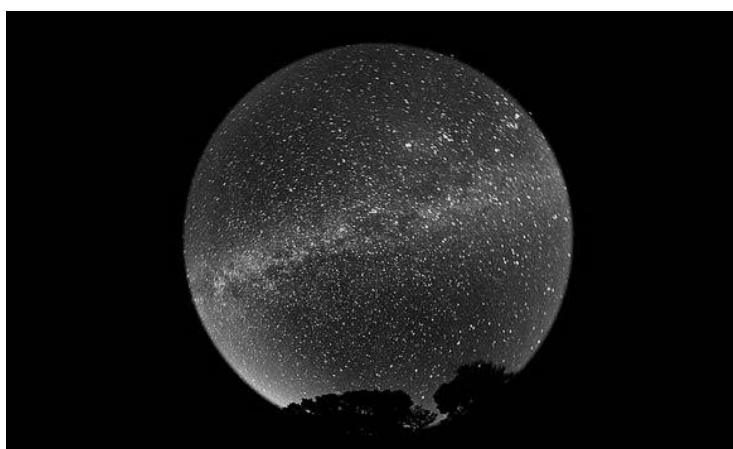
Para obtener una referencia de lo explicado la tecnología utilizada en los sensores CCD, tienen mucha relación con la visión humana y por este detalle es posible utilizarla en investigaciones de contaminación lumínica. Solano (2010) citó a Wienold y Christoffersen (2006), quien demostró que llevaron a cabo una investigación en donde se realiza el deslumbramiento de los ambientes de trabajo con luz natural, utilizando cámaras con dispositivo CCD. Por consecuencia, todos estos equipos de medición que hasta hace poco tiempo eran solo prototipos, comenzaron a comercializarse en el mercado. La empresa Opte-e-ma (2006) desarrolló el equipo de medición goniofotómetro RIGO 801 el cual es utilizado para medir objetos fotométricos, lámparas y luminarias y las mediciones pueden ser tratadas por medio de un software. En otro caso, la empresa Technoteam (2007) distribuye diferentes equipos videofotómetros con tecnología CCD, en la rama LMK, aplicados en la medición de la distribución de luminancias, iluminación de interiores, iluminación de exteriores, colorímetros y medición de lámparas y luminarias. Una de estas cámaras, la LMK 2000 Mobile, es muy ligera y se puede llevar con comodidad a donde se desee ya que no cuenta con

aditamentos pesados o molestos, este equipo también maneja un software para el tratamiento de los datos recolectados por medio de las cámaras. (Solano,2010)

3.4. Cámaras digitales

Solano explicó sobre las fotografías dentro de la evaluación de la contaminación lumínica, precisando que son utilizadas generalmente como exposición grafica del problema y en algunos casos, si se tiene el programa más adecuado para poder determinar luminancias en puntos de la imagen en las evaluaciones. Las imágenes capturadas son utilizadas por medio de lentes especiales como los ojos de pez, los cuales son aquellos cuyo ángulo de visión es extremadamente grande, de 180 grados o más. En la fig. 3.3 se observa un ejemplo de imágenes capturadas por fotografía, se puede observar el efecto de la contaminación lumínica en las orillas del círculo.

Figura N°3: Fotografía astronómica tomada con objetivo “ojo de pez”



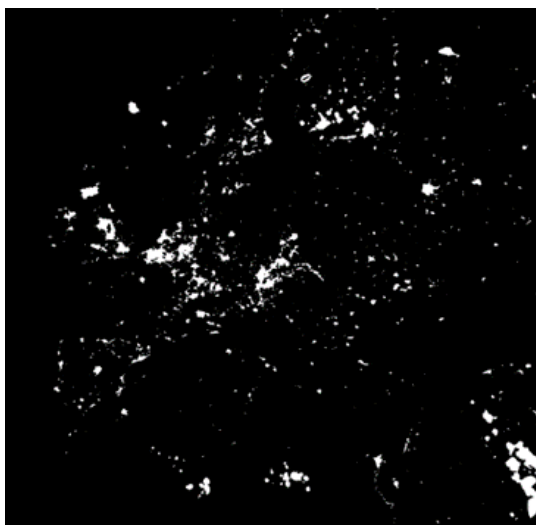
Fuente: Sullivan (1991)

3.5.Imagen satelital

Tal como señalan Zamorano et al (2013), las imágenes satelitales proporcionan datos mucho “más detallados de cuánta luz emitimos al espacio y, por tanto, cuánta contaminación lumínica se inyecta en la atmósfera y perturba nuestro medio ambiente”. Destacan, en ese sentido, la importancia de la construcción de la Estación Espacial Internacional (ISS por sus siglas en inglés en adelante).

Solano (2010) explica sobre las imágenes satelitales, destacando a Sullivan (1991) como el primer investigador que realizó una imagen satelital de la tierra por la noche, él tomó fotografías de imágenes satelitales a lo largo de 10 años, este trabajo lo realizó apoyándose en el satélite de defensa meteorológica de Estados unidos de Norteamérica por 10 años, entre 1974 y 1984. De todas las imágenes capturadas solo se eligieron las fotografías libres de nubes. En la fig 3.4 se observa Europa y sus puntos luminosos, en un extracto del primer mapa satelital de la noche.

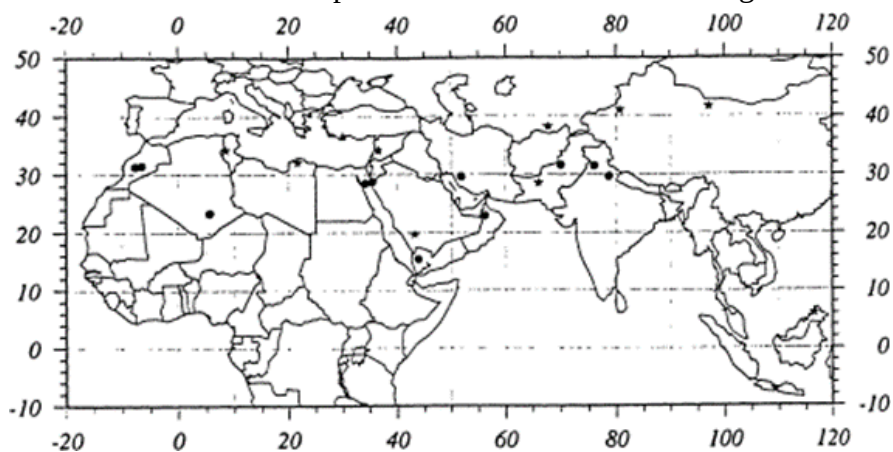
Figura N°4: Europa y sus puntos luminosos, en un Extracto del primer mapa satelital de la noche



Fuente: Sullivan (1991)

En otro caso los investigadores Quercy y Quercy (1998) se apoyaron en imágenes de satélites meteorológicos para identificar los mejores puntos en el planeta Tierra para realizar observaciones astronómicas. Con estas imágenes capturadas se identificaron la cantidad de polvo, humedad y nubes e identificaron los datos colocándolos en un mapamundi. En la fig 3.5 se podrá encontrar los mejores sitios en lugares de África y Asia.

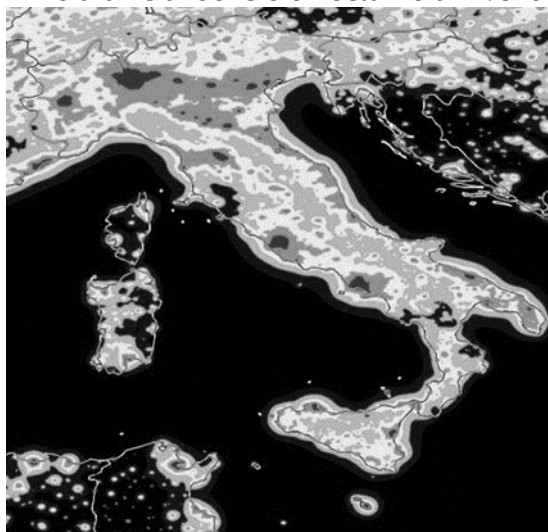
Figura N°5: Mapa de los mejores lugares para observaciones astronómicas en África y Asia, identificados por medio de satélite meteorológico



Fuente: Querci & Querci (1998)

Posteriormente fueron utilizadas ampliamente las imágenes satelitales por Cinzano, Falchi y Elvidge (2002, 2007).

Figura N°6: Brillo artificial del cielo nocturno a nivel del mar en Italia



Fuente: Cinzano, Falchi & Elvidge (2002)

Los mapas de contaminación lumínica permiten, por una parte, la localización de los lugares geográficos de mayor idoneidad para la práctica de la astronomía, tanto desde el punto de vista de enclave o ubicación de los centros observatorios como de las zonas de mejor visibilidad para la práctica de esta actividad. Por otra parte, el estudio de estos mapas y su evolución en el tiempo permite la predicción y/o adopción, en su caso, de medidas correctoras y/o preventivas, de acuerdo a lo indicado por Navas (2015).

Una característica importante de la contaminación lumínica yace en la posibilidad de emplear distintos espectros de longitudes de onda. Por lo cual, las diferencias de determinados espectros de las radiaciones procedentes de planetas y elementos estelares con los espectros procedentes del alumbrado público permite la utilización de filtros como herramientas para mejorar el contraste buscado.

De acuerdo a lo señalado por Navas (2015) la elaboración de los mapas se realiza con distintas técnicas, tales como:

- a) La primera, con origen básicamente en el entorno astronómico, consiste en la cuantificación de la mera apreciación visual del número de estrellas en áreas preconocidas del cielo. A partir de unos patrones y zonas delimitadas, en cuyo interior se conoce el número de estrellas visibles en condiciones idóneas, se hace un muestreo en las zonas o áreas en las que se desea realizar el mapa y se obtienen los mapas lumínicos respectivos. Actualmente la vía más habitual para la obtención de estos datos es la de la web o internet. En este campo se solicita la participación ciudadana a través de páginas web suministrándoles unos patrones y solicitándoles la devolución de los mismos particularizados a su lugar de observación y la identificación de éste. Resulta evidente que el punto débil de este método radica en la dependencia de la validez de los datos, tanto de la propia apreciación subjetiva de los participantes (agudeza visual, causas ajenas a la contaminación lumínica, nubosidad, ...) como de la propia buena intención del sujeto. Este inconveniente se minora considerando, gracias a la extensión de la web, el elevado número de participantes que permite absorber y mediar los datos obtenidos.

Este sistema ha sido utilizado en el programa “Globe at Night”, que se lanza anualmente recabando la información de miles de personas. Para ello la campaña, lanzada internacionalmente a través de internet, incluye una información al usuario de los datos a recabar y método a seguir, así como de un formulario que incluye, además de los patrones a comparar, otros datos necesarios como lugar, horario, condiciones climáticas, etc... En el programa de 2009 se alcanzaron 15.300 observaciones durante dos semanas.

- b) La segunda técnica para la realización de estos mapas, también basada en la obtención popular de información, se diferencia de la anterior en que dichos datos, en lugar de obtenerse de la apreciación visual del sujeto, se obtienen mediante la medición utilizando un instrumento. El instrumento más utilizado en los casos más significativos es el SQM (Sky Quality Meter) que es un “medidor de la calidad del cielo” de bajo coste (del orden de 120 dólares). La medición la realiza en “Magnitudes per Square Arc Second”, medida utilizada en astronomía para evaluar el brillo del cielo.

Este instrumento existe en diferentes versiones (SQM y SQM-L), diferenciándose el segundo en disponer de una lente que permite obtener una mayor cantidad de luz para un menor ángulo de visión, recomendado para entornos urbanos donde pueden existir más distorsiones laterales. La medida que realiza es dependiente de la temperatura por lo que incorpora un sensor de temperatura al objeto de asociar cada medida y la temperatura a la que se realiza.

Estos mapas gozan de mayor precisión que los primeros, al no depender de la subjetividad del observador, sin embargo, la necesidad de adquirir el instrumento reduce la cantidad de observadores en disposición de participar en el muestreo. En contrapartida, el hecho de disponer del instrumento dota al participante de un grado, si no necesariamente de profesionalidad, sí de implicación en el contexto.

- c) Una tercera técnica utilizada, de mayor nivel tecnológico, consiste en la utilización de satélites para la obtención de información. Determinados satélites disponen de sensores de radiaciones, entre ellas en el rango visible, que permiten la obtención de bases de datos y la elaboración de mapas de contaminación lumínica.

“The first World Atlas of the artificial night sky brightness” (El primer atlas mundial del brillo artificial nocturno del cielo) de Cinzano es actualmente una referencia a nivel mundial que no puede faltar en ningún trabajo relativo a la contaminación lumínica (Cinzano, 2001). Actualmente ya se está preparando el segundo atlas mundial por el mismo autor.

Este método también es el anunciado por la Junta de Andalucía para la elaboración de mapas lumínicos de Andalucía.

Este método presenta una gran diferencia con los anteriores. Los primeros evalúan el efecto de la emisión luminosa sobre el brillo del cielo y consecuentemente sobre la visibilidad de los astros. Este método sin embargo observa directamente la emisión luminosa hacia el cielo, no sus efectos. En este sentido este sistema se utiliza también en otros contextos como la observación de la evolución de la expansión de las zonas civilizadas (asociadas a la emisión de luz artificial). Las bases de datos de estos programas incluyen el seguimiento de décadas lo que permite realizar mapas de crecimiento.

El sistema por satélites cuenta con algunos inconvenientes. Entre ellos cabe destacar que su medida responde prácticamente sólo a la componente vertical de la radiación (dada la distancia al punto de medida). Por otra parte, también intervienen factores que diversifican las

condiciones de la medición en áreas tan extensas (diferencias climatológicas, horarias, otras contaminaciones, humedad, ...). Expertos en esta materia ya relevan este inconveniente (Galadí Enríquez, 2008):

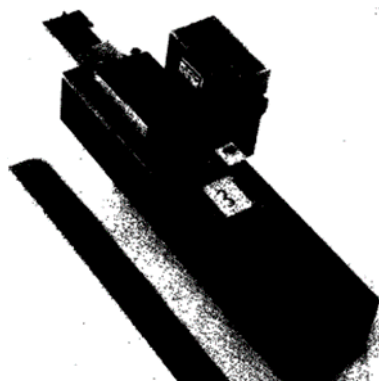
Los resultados que se obtienen de este modo tienen la ventaja de que abarcan áreas de territorio extensísimas, pero su traducción en términos de magnitud estelar límite observable, brillo del fondo de cielo en mag/arcsec² en varias bandas ,etcétera, es en buena medida incierto y depende de manera crucial de los modelos atmosféricos, las condiciones meteorológicas locales y, sobre todo, de la calibración a través de medidas directas reales por los métodos tradicionales de la fotometría astronómica.

3.6. Fotómetro astronómico

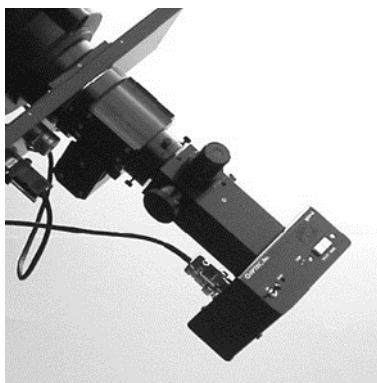
Solano (2010) describe al fotómetro como un instrumento que mide la intensidad de la luz, en otras palabras, los mencionados anteriormente se consideran como fotómetros –derivado del griego foto, luz y metro, medida. Por otro lado, en astronomía se utilizan dos tipos de fotómetros: el fotómetro fotoeléctrico y el fotómetro con tecnología CCD. El primero el fotómetro fotoeléctrico aún sigue siendo utilizado, aunque cada vez a menos demanda debido a las ventajas que ofrece el fotómetro CCD: mayor calidad, mayor cantidad de datos por toma, mayor precisión. El CCD ha sido ampliamente recomendado por Tritton (1997) debido a las ventajas mencionadas anteriormente.

Adicionalmente, el autor indicó también que los fotómetros en astronomía son utilizados para determinar la magnitud de los astros observados, solo en algunas ocasiones se ha utilizado para el cálculo de la contaminación lumínica, con resultados exitosos. Tal es el caso que indicó Treanor (1972) citado por Solano (2010), quien propuso un fotómetro portable de fabricación propia, muy parecido al SQM; a diferencia de otros equipos, este es mucho más pesado y grande, que no permite su uso cómodamente.

Figura N°7: Fotómetro portable recomendado por Upgren



Fuente: Upgren (1992)

Figura N°8: Fotómetro astronómico

Fuente: Upgren (1992)

3.6. Espectrofotómetro

En su artículo “A portable spectrophotometer for light pollution measurements”, Pierantonio Cinzano presenta un espectrofotómetro portátil para la monitorización del brillo del cielo y las emisiones de polución lumínica en el rango de 420 nm a 950 nm. (Cinzano, 2004) citado por Navas (2015)

Este equipo coadyuva a la elaboración de mapas espectrales nocturnos del cielo en diversos sitios y a través de territorios con formato compacto, transportabilidad y cobertura automática de una trama de puntos.

Figura N°9: El espectrofotómetro WASBAM- SSH

Fuente: Cinzano (2015).

Existen otros espectrofotómetros diseñados por otros investigadores en el contexto de la polución lumínica. En su artículo “Light Pollution modeling and detection in a heterogeneous environment.”, (Aubé, 2007) citado por Navas (2015), represento un modelo, denominado SAND (Spectrometer for Aerosol Night Detection) diseñado con el objetivo de verificar y comparar las predicciones de su modelo con valores medidos.

3.7. Excalibur

Excalibur es un montaje comercial disponible diseñado por el Dr. Jesús Aceituno Castro, del Centro Astronómico Hispano Alemán (Observatorio de Calar Alto), de acuerdo a lo indicado

por Navas (2015). La denominación Excalibur procede de EXtinction Camera and LumInance BackgroUnd Register.

Asimismo, Navas (2015) informa que Excalibur es un monitor de extinción atmosférica que permite hacer fotometría automatizada en 10 bandas (filtros), lo que permite caracterizar la curva de extinción en todo el rango espectral abarcado, así como determinar el brillo superficial del cielo. Está especialmente indicado para medidas de contaminación lumínica.

Adicionalmente, se indica que existen dos ejemplares del sistema Excalibur en funcionamiento y hay otros tantos en manufacturación. El más notorio de todos estos equipos es el prototipo, que lleva operando varios años en el Centro Andaluz del Medio Ambiente, brindando medidas sistemáticas tanto de brillo de fondo de cielo como de extinción atmosférica y contenido de aerosoles.

Navas (2015) señala que su principio de funcionamiento, para la medición de contaminación lumínica, se basa en una cámara CCD, dotada de filtros, acoplada a un telescopio.

Figura N°10: Instrumento Excálibur.



Fuente: David Galadí Enríquez, Observatorio de Caiair Alto / <http://astro-itec.es/desarrollos>

3.8. Fotografía aérea

Navas (2015) indica que la principal diferencia con los mapas astronómicos puede radicar en la menor escala y resolución requeridas. En el documento “CIESIN Thematic Guide to Night-time Light Remote Sensing and its Applications” de Christopher N.H. Doll (Doll, CIESIN Thematic Guide to Night-time Light Remote Sensing and its Applications, 2008) citado por Navas (2015) se evalúan métodos como el sistema DMSP-OLS, utilizado en mapas astronómicos, y otros entre los que se recurre a la fotografía aérea nocturna, como la Figura 3.11.

Este tipo de fotografías presentan diversas ventajas en consideración a la fotografía desde satélites considerando entre ellas que la intervención desde la atmósfera resulta menor debido a la altura desde la cual es tomada, sirve principalmente en el contexto urbano permitiendo visualizar la luz emitida al exterior.

Figura N°11: Comparativa diurna y nocturna de Las Vegas obtenidas con un avión ER-2



Fuente: Christopher N.H. Doll (2015)

4.9. Sistema LPDM (Light Pollution Mobile Detector).

Navas (2015) señala que existen multitud de proyectos con fines similares, es decir la elaboración de mapas de contaminación lumínica en zonas o áreas concretas. Unos, como el proyecto de Doñana, recurren a bases de datos obtenidas de satélites, en tanto que otros recurren a recorrer la zona con un vehículo dotado de sensores lumínicos y otros de apoyo (GPS, cámara de vídeo, ...). Entre estos, al margen de los mencionados sobre la Desembocadura del Ebro ó el 21.69, se puede nombrar el sistema LPDM (Light Pollution Mobile Detector), de Thierry Hanon- Degroote (Hanon-Degroote).

Este tipo de dispositivos funcionan colocando un equipo integrado en la parte delantera o trasera de un vehículo el cual cuenta con 3 sensores de luminosidad que operan al mismo tiempo, cubriendo hasta las proximidades del infrarrojo. Esta medición se realiza con un GPS que permite la elaboración de ficheros de datos correspondientes a las mediciones ejecutados. Cada captura permite contar con una película de video que contribuye al análisis cortando puntos no significativos o justificando excepciones.

Adicionalmente se trabaja con Google Earth para reconstituir los datos y obtener el recorrido completo como se ve en la figura 3.12

Figura N°12: Ejemplo de trazado por Thierry con la ayuda del Google Earth



Fuente : Association pour la Sauvegarde du Ciel e de l'Environnement Nocturne ASBL

3.8. Otros instrumentos complementarios

De acuerdo a lo señalado por Navas (2015), además de los instrumentos indicados, se cuenta con los siguientes equipos:

- 1- Voltímetro. Para la medición de la tensión en instalaciones de alumbrado. Algunas normativas requieren la medida del voltaje de la instalación para su relación con la emisión luminosa de la instalación a evaluar.
- 2- Brújula. Para la medición de la orientación de las fuentes de procedencia de los puntos evaluados.
- 3- GPS. Sistemas de posicionamiento geográfico para el trazado de mapas y/o localización de los puntos de medición.

Literatura Citada

Solano Lamphar, H. A. (2010). Medición de la contaminación lumínica en espacios naturales: propuesta de un modelo predictivo. Universidad Politécnica de Catalunya.

Navas Borrero, J. L. (2015). Medida y evaluación de la contaminación lumínica en entornos urbanos. Universidad de Málaga.

Norma Chilena de Emisión para la Regulación de la contaminación Lumínica. N°686. Diciembre de 1998.

Zamorano, J; Sánchez de Miguel, A.; Ocaña, F y Castaño, J. (2013) El uso de imágenes de satélite para combatir la contaminación lumínica. Revista Astronomía, n°167 | mayo 2013, España, pp 2-4

NORMATIVA DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Por:

José Luis Pita Espinoza
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Cesar Augusto Reyes Gutiérrez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Gustavo Adolfo Montoya Cárdenas
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

4. Normativa de la contaminación lumínica

Este capítulo se orienta a la identificación de las normas que existen sobre contaminación luminosa o lumínica, en diferentes lugares del mundo, así como en el Perú.

En términos científicos, la contaminación lumínica es la modificación de la oscuridad natural medio nocturno afectado por la luz artificial que es provocada por la direccionalidad incorrectamente, por su intensidad, rangos espectrales innecesarios, que son utilizados para la realización de las actividades nocturnas, y toda esta fuerza de luminosidad que va dirigida hacia el cielo, perdiéndose.

Han surgido distintas asociaciones de gran renombre para la defensa y protección hacia el cielo oscuro y sobre todo contra la contaminación lumínica; tales como, Cels Fosc (España), Cielo Buio (Italia), *IDA International Dark-Sky Association*, *IAU Comisión 50 de la Unión Astronómica Internacional* o la *Iniciativa Starlight*, *OTPC Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo*, *REECL Red Española de Estudios sobre la Contaminación Lumínica*, entre otros, esto refleja que la población de poco a poco va tomando conciencia, sobre la gravedad del asunto

La contaminación lumínica no solo impide apreciar a las estrellas y astros, sino que también afecta al medio ambiente y la salud humana. Ya desde la década de los 80, siglo pasado, se ha considerado a la contaminación lumínica como un serio problema para el mundo. Esto comprende, entre otros, el uso inadecuado de luminarias en las ciudades, deficiente, y a veces nulo, apantallamiento de la iluminación de exteriores como la mala direccionalidad del haz de luz, muchas veces dirigido hacia el cielo, Además, el exceso de luz artificial durante la noche afecta el hábitat ecológico, ocasionando alteraciones biológicas en ciertas especies animales, cambios de conducta y en algunos puede incluso causar la muerte.

Figura N°1: Imágenes de Satélites de Europa en las áreas iluminadas en las noches de 1992, la parte superior, y en la parte inferior del 2010.



Fuente: NASA y NOAA.

En la Figura 1 se hace la comparación de las imágenes satelitales de Europa de diferentes años, una de 1992 y la otra del 2010, y se puede apreciar notoriamente que el aumento de las áreas iluminadas no ha parado de aumentar. En los últimos 20 años se sabe el crecimiento anual de consumo de iluminación en los países desarrollados a aumentado entre el 5 y 10% y esto ha generado que a paralela también aumente la contaminación lumínica. (Herranz, 2011). Pero cabe recalcar que el crecimiento de la iluminación eléctrica va de la mano con el crecimiento de la población urbana, para así desahogar y descongestionar las grandes ciudades (Secretaría de Desarrollo Social & Instituto Nacional de Ecología, 1993). Y por ende crece la economía, el aumento de productividad, y el aumento de demanda de luz eléctrica también va paralelo (Sveikauskas, 1975).

4.1 Normativa sobre la contaminación lumínica.

El Derecho Ambiental ha ido ganando terreno en el Perú y el Mundo, debido a notorios vacíos legales para afrontar las diversas variantes de la contaminación ambiental. Tal como señalan López y Ferro (2006) el derecho constituye “el camino para lograr la observancia constante y generalizada de ciertas conductas humanas tendientes a proteger el ambiente. Por medio de la norma y la coacción, el derecho resulta ser una respuesta social viable para detener la destrucción voraginosa del ambiente por el ser humano”.

Para Fonseca (2010) el derecho ambiental es el conjunto de normas jurídicas que regulan las conductas humanas que pueden influir de una manera relevante en los procesos de interacción que tienen lugar entre los sistemas de organismos vivos y sus sistemas de ambiente mediante la generación de efectos de los que se espera una modificación significativa de las condiciones de existencia de dichos organismos.

4.1.1 Normativa legal en Perú

La sociedad civil, los ambientalistas, universidades y organizaciones como la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA) han desplegado esfuerzos para lograr una ley que regule los efectos de la contaminación lumínica. Estos esfuerzos permitieron la promulgación de la Ley N° 31316, el 27 de julio del 2021, en el diario El Peruano.

Ley N° 31316 (Ley de prevención y control de la contaminación lumínica 2021)

Objetivo: establecer el marco regulatorio aplicable a todas las fuentes de contaminación lumínica en el país, con la finalidad de contribuir con la mejora de la calidad de vida humana y fauna silvestre, a través de la prevención de riesgos a la salud; la promoción de la eficiencia energética, la seguridad vial, y evitar la alteración del paisaje.

Ámbito de aplicación:

- La iluminación proveniente de actividades deportivas, industriales, productivas y de servicios.
 - Elementos de publicidad exterior (EPE).
 - El alumbrado de las vías públicas, de conformidad con lo dispuesto por la Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley 25844, y sus normas reglamentarias respectivas.
-

Funciones de fiscalización y sanción:

- Las municipalidades distritales tienen la función de ejercer la fiscalización y sanción respecto a los titulares de los focos de alumbrado de las instalaciones deportivas y de servicios.
- El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) tiene la función de ejercer la fiscalización y sanción respecto a los titulares de las luminarias de alumbrado de las instalaciones industriales y productivas.

Tipificación de infracciones y sanciones:

- El Ministerio de Educación tiene la función de aprobar la tipificación de infracciones y sanciones aplicable a los titulares de los focos de alumbrado de las instalaciones deportivas, sean públicas y privadas.
- El Ministerio de la Producción tiene la función de aprobar la tipificación de infracciones y sanciones aplicables a los titulares de las luminarias de alumbrado de las instalaciones de servicios.
- El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) tiene la función de aprobar la tipificación de infracciones y sanciones aplicable a los titulares de las luminarias de alumbrado de las instalaciones industriales y productivas.
- Pero esta ley no aplica para todas las situaciones que se emplee para brindar seguridad y vida a las personas. (Artículo 2; Ley 31316, 2020).

Definición de términos.

- Ciclo de vida: Fases consecutivas o rotatorias que consiste en adquirir materia prima, producir, distribución, uso, cotización, y la eliminación de residuo.
 - Contaminación Lumínica: Es todo aquel elemento que produzca iluminación eléctrica que genera un impacto negativo hacia la población y os que habitan en ella.
 - Contaminación visual: Es aquella que perturba, incomoda la visión de una determinada zona que altera de forma estética o la percepción del paisaje.
 - Luminosidad: Intensidad luminosa mayormente es medida en candelas por metro cuadrado (cd/m^2) o conocidos como los nits (nt) donde $1\text{nt} = 1 \text{cd/m}^2$. (Artículo 3; Ley 7193, 2020).
-

Cuadro N°1: Leyes de la Contaminación Lumínica en el Perú

País	Ley/Decreto	Título
Perú	Proyecto de Ley 31316 /2021– Promulgada el 27/07/2021	Ley de Prevención y Control de la Contaminación Lumínica
Perú	NTP IEC 60598 – 2 – 22 15/03/2007	Luminaires. Parte 2-22: Requisitos particulares. Luminarias para alumbrado de emergencia.
Perú	NTP 370.100:2008 26/10/2008	Uso Racional de Energía.- Lámparas fluorescentes compactas integradas (LFCIs) – Definiciones, requisitos y rotulado.
Perú	NTP IEC 60969:2008 24/02/2009	Lámparas Fluorescentes Compactas Integradas para Servicios Generales de Iluminación.- Requerimiento de Funcionamiento.
Perú	NTP 370.103:2010 08/09/2010	Eficiencia Energética.- Perdidas máximas en balastos, para lámparas de vapor de sodio de alta presión
Perú	NTP IEC 60064:2009 29/10/2009	Lámparas de Filamento de Volframio para Uso Doméstico y Alumbrado General Similar.- Requisitos de Funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Normativa legal sobre contaminación lumínica en Chile

En Chile en 1998 se proclamó la norma de transmisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica la cual es fin era prevenir la contaminación de los cielos nocturnos II, III, IV, y salvaguardar la calidad astronómica de estos cielos.

Después de unos años en el 2013 después de modificar el decreto N° 686, el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción proclamaron el Decreto 43 que se puso en vigencia el 4 de mayo del 2014 la cual se centra en la contaminación lumínica pero en las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo, su objetivo fue disminuir el porcentaje de letreros luminosos, proyectores, avisos que son emitidos con luz eléctrica, entre otros. Pero no solo fue eso, sino que también se tornaron más rigurosos y estrictos en torno a las luminarias públicas, exigiendo a conservar bajos manejos de flujo eléctrico y sobre todo evitar la sobre iluminación y la emisión de rangos espectrales cercanos al color azul, que son comúnmente por las luces blancas. D.S. N° 686 (1998)

En los años del 2018 y 2019 fue ejecutado el proyecto de ley que modifica la Ley N° 19.300 sobre las bases generales del Medio Ambiente, incorporando la Contaminación Lumínica, el cual fue aprobado en mayo del 2019. Y esto da a notar la concientización que tienen sobre esta contaminación que es una de más severas, que a la larga nos trae mucho perjuicios a todos los que habitamos en el planeta. (Enrique Vivanco Fot, 2020).

Resolución 475 Exenta; “Establece el régimen provisorio y dicta instrucciones generales sobre deberes de remisión de información para fuentes emisoras reguladas por la norma de emisión para regulación de la contaminación lumínica, decreto supremo N° 43, de 2012, del Ministerio del Ambiente” (Superintendencia del Medio Ambiente de Chile, 2020)

Pero lamentablemente la Resolución 475 ha sido derogada en el año 2021 por temas políticos del país.

4.1.3. Normativa legal sobre contaminación lumínica en España

Prevención de la contaminación lumínica y del fomento del ahorro y eficiencia energéticos derivados de instalaciones de iluminación. Ley 15/2010, del 10 de Diciembre que su última modificación fue el 06/07/2017.

Objetivo.- Su principal función es equilibrar el uso de las instalaciones, equipo, dispositivos que tengan que funcionar con energía eléctrica sea pública o privada, con propósito de prevenir y reducir la Contaminación Lumínica y así lograr que la energía eléctrica funcione con responsabilidad y eficiencia.

Finalidad.- A parte de las indicadas en la Ley 34/2017 del 15 de Noviembre, las siguientes:

- Proteger con carácter de Urgencia todo tipo de invasión y molestias luminosas.
- Conservar los estados naturales de las horas nocturnas, a favor de las personas, flora y fauna silvestre y del ecosistema.
- Principalmente difundir y concientizar sobre el ahorro y buen uso de la energía eléctrica.
- Abogar por los paisajes y la seguridad de la visión nocturna del cielo. (B.O.E, 2017)

Cuadro N°2: Algunas de los Decretos y Leyes Españolas contra la Contaminación Lumínica

País	Ley/Decreto	Título
España	Ley 31/1998	Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica
España	Ley 7/2007 del 07 de julio Ley 357/2010	Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (Ley GICA)
España	Real Decreto 1890/2008, del 14 de Noviembre	Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 a EA-07
España	Decreto 357/2010, del 3 de Agosto	Guía Técnica de Adaptación de la Instalaciones de Alumbrado Exterior
España/Vasco	Ley 131/2010	Ley de Corrección de la Contaminación Lumínica de la CAV
España/Cataluña	Ley 6/2001	Protección del Medio Nocturno
España/Cataluña	Decreto 357/2010	Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno Frente a la Contaminación Lumínica y el Establecimiento de Medias de Ahorro y Eficiencia Energética
España/Islas Canarias	Ley 34/2007	Ley de la Atmosfera – Disposición Adicional Cuarta. Contaminación Lumínica

Fuente: Obtenido en CL (Red Española de Estudios de la Contaminación Ambiental) (2007)

4.2 Relación de la Contaminación Lumínica y la Salud Humana.

Tras muchos estudios realizados en los últimos años, se ha concluido que la exposición frecuente a la luz artificial nocturna (LAN) trae problemas de cáncer mayormente de mama y el de próstata.

Unos estudios realizados en Israel utilizaron imágenes satelitales nocturnas en 147 comunidades Israelitas, para medir la luz artificial, luego de esto se sobrepuso las fotos en un mapa donde se evidenciaban los casos de cáncer de mama, los cuales mostraron una correlación estadísticamente significativa entre la luz artificial nocturna y el cáncer de mama.

Las mujeres que viven en lugares donde la luz artificial es tan potente a tal punto que pueden sentarse a fuera a leer un libro a la media noche lamentablemente tienen una probabilidad mayor en un 73% más que en comparación de otras que viven en pueblos donde la luz no es tan potente. (Chronobiology International, 2008).

En el 2007, la Agencia Internacional de Investigación sobre Cáncer informo que el cambio de turnos en los trabajos era un probable cancerígeno humano, puesto que se había detectado que las mujeres que trabajan en el turno nocturno presentaron índices de cáncer de mama más elevados.

Un estudio realizado por el conocido epidemiólogo Richard Stevens con sus colegas de la Universidad de Haifa, se volvió a dar a conocer que los países con el mayor uso de la LAN tienen mayor coincidencia con los casos de cáncer de mama, un ejemplo de ello es que las probabilidades son de un 30% a un 50% mayor que los países que de menor uso de la potencia de la LAN, pero esta coincidencia y asociación no se encontró con el cáncer de pulmón, colorrectal o la laringe.

El Biólogo David Blask de la Universidad Tulane, indica que todas las implicaciones van más allá de la rotación de turnos. “Este estudio indica que todos los que vivamos en los países industrializados, tenemos la gran posibilidad de que nuestro sistema circadiano se vea afectado por un trastorno dado al exceso de luz nocturna, y probablemente este porcentaje no se limitara al pequeño porcentaje de la población que está expuesto dado sus labores.” Dice Blask.

Todos los autores llegan a la conclusión que la reducción de tiempo expuestos a la LAN de los individuos es cuando ellos duermen, dado que para un placentero sueño no se necesita nada de luz, para que esta no llegue a sus retinas. Stevens añade: “Entre tres a cuatro estudios han dado resultados que las mujeres que duermes más horas reportan menos riesgo a contraer cáncer de mama.” Stevens considera las horas de sueño equivalen aquellas que pasan en la oscuridad.

Anteriormente Blask y sus colegas hicieron una demostración que el vínculo de la LAN con el cáncer tiene que ver con el factor de la melatonina la cual es una hormona que se genera en la oscuridad nocturna y esta genera el sueño. La demostración que hicieron fue que el cáncer de mama en las ratas se tornaba más lento cuando los tumores se empapaban con sangre humana rica en melatonina obtenida en la noche. Y otro era el resultado cuando a estos tumores los impregnaban con sangre humana pero a la cual se le habían suprimido los niveles de melatonina, los metabolismos y el crecimiento de estos tumores no se modificaban en lo absoluto, no se veía una mejora. Tomando los mismos modelos Blask y George Brainard, de la Universidad Thomas Jefferson, han realizado unos proyectos pilotos sobre el cáncer de próstata humano, si es que la melatonina también tiene efectos sobre este, y si la LAN también puede influir. (Angela Spivey, 2001)

4.2.1. Formas de reducir los trastornos circadianos que resultan de la exposición a la LAN

Aplazar el periodo nocturno entre 9 a 10 horas, por ejemplo, puede poner persianas oscuras para así oscureces la habitación.

Antes de dormir es recomendado no ver televisión ni usar la computadora, y cuando estén durmiendo todas las luces deben ser apagadas.

En las oportunidades que se levanten de noche sea para tomar agua, o ir al baño evitar prendes las luces y se sugiere prender una luz roja de baja intensidad, la cual suprime menos la producción de la melatonina en otras longitudes de onda.

Si el medico no te ha recomendado tomar tabletas de melatonina, no las consumas, puesto que un incremento de esta puede acelerar el trastorno circadiano

4.3. Conclusiones

La contaminación lumínica es un problema mundial, que los países han comenzado a tomar conciencia de la gravedad del asunto y es por ello que han establecido normas para prevenir futuros riesgos que trae consigo la excesiva exposición a la LAN, es por ello que nuestro país vecino Chile desde 1998 decidió proclamar la norma de Transmisión para la Regulación de la

Contaminación Lumínica para minimizar riesgos de la LAN en los cielos II – III – IV. La cual luego se ha ido modificando para optimizar los resultados, y luego de esta se han proclamado más decretos para reducir todo daño que produzca el uso excesivo de la LAN.

Por otro lado en todo España se proclamó la ley de Prevención de la contaminación lumínica y del fomento del ahorro y eficiencia energéticos derivados de instalaciones de iluminación, la cual su última modificación fue en el año 2017, en la que estable regular todo uso de la LAN que no sea necesaria, minimizar su uso, y concientizar a la población de hacer un uso responsable de esta, así la LAN se volverá eficiente y evitara muchos peligros contra su población, flora y fauna silvestre y sobre todo con los ecosistemas. Pero no solo existe esta ley, hay muchas más que han ido apareciendo en los transcurso del año y otras que desaparecieron, pero todas con la finalidad de salvaguardar a los suyos.

En España, Calvo (2010) sintetizó “cinco criterios fundamentales necesarios para controlar la contaminación lumínica y lograr una iluminación eficiente, eficaz y de calidad”:

- Control del flujo luminoso directo (¿qué iluminar?).
- Control del flujo luminoso indirecto (¿cuánto iluminar?).
- Elección de lámparas adecuadas (¿con qué iluminar?).
- Optimización del proyecto luminotécnico (¿cómo iluminar?).
- Gestión inteligente del alumbrado (¿cuándo iluminar?). Iluminando bien emplearemos menos dinero y energía, veremos mejor, conseguiremos una mayor calidad de vida y preservaremos el medio nocturno

En el Perú, un hito significativo ha sido la reciente promulgación de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Lumínica N°31316/2021-CR, esta ley está en la obligación de cuidar y poner por encima de todo, la salud de su población y su flora y fauna silvestre, por los problemas que trae consigo la Contaminación Lumínica, esta ley es aplicable a todo, con excepción de las siguientes restricciones; alumbrado público, toda actividad deportiva, industrial, productivas o servicios que generen el gasto de la luz eléctrica, publicidad del exterior.

Literatura citada

- Angela Spivey**, (2001); La luz Nocturna y el Cáncer de mama en el Mundo; Obtenido en: <https://www.redalyc.org/pdf/106/10619758012.pdf?fbclid=IwAR3q8D9QNTNjC9IllxLniV2AB78p8sOwoy3I7vuVBCDZJ00ifpbSgruVVTA>.
- Artículo 1; Ley 7193**, (2020); Objetivo y propósito de la Ley de Prevención y control de la Contaminación Lumínica, Obtenido en: https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL07193-20210222.pdf
- Artículo 2; Ley 7193**, (2020); Ámbito y aplicación de la Ley de Prevención y control de la Contaminación Lumínica, Obtenido en: https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL07193-20210222.pdf
- Artículo 3; Ley 7193**, (2020); Definición de la Ley de Prevención y control de la Contaminación Lumínica, Obtenido en: https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL07193-20210222.pdf
- B.O.E Boletín Oficial del Estado** (2017), Decretos y Leyes Españolas contra la Contaminación Lumínica, Obtenido en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2010/BOE-A-2010-20074-consolidado.pdf>.
- Calvo, Maria** (2010) El derecho a un cielo oscuro. Prevención y corrección de la contaminación lumínica. Asamblea: revista parlamentaria de la Asamblea de Madrid, ISSN 1575-5312, N°. 23, 2010, págs. 199-222
- Castillo Córdova, L.** (2005). El valor jurídico de la persona humana. Revista Galega de Cooperación científica Iberoamericana, (11), pp. 31-40. Recuperado de: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1952/Valor_Juridico_Persona_humana.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Chronobiology International**, (2008); Estudios realizados que vinculan a la Luz Artificial Nocturna con el cáncer de mama, obtenido en: Revista Internacional Chronobiology International.
- D.S. N° 686** (1998). Norma de emisión para la regulación de la contaminación lumínica. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción. Disponible en: <http://bcn.cl/2cvdg>. (Enero 2020).
- Duranton, G. & Puga, D.** (2003). Micro-Foundations of Urban Agglomeration Economies. Nber Working Paper Series, 9931. <https://www.nber.org/papers/w9931.pdf> [Links]
- Enrique Vivanco Fot**, (2020), Regulación de la Contaminación Lumínica en Chile, Biblioteca del congreso Nacional de Chile, lo podemos encontrar en: <https://atp.bcn.cl>.
- Fonseca, Carlos** (2010) Manual de Derecho Ambiental (Primera ed.). Arequipa-Perú: Adrus.
-

- Herranz, C.** (2011): “Por una nueva cultura de la luz”, CIC Arquitectura y Construcción, nº 484, p.32-35, Grupo Tecnipublicaciones, Madrid.
- López, P. y Ferro, A.** (2006) Derecho ambiental. Ediciones IURE, México
- Secretaría de Desarrollo Social & Instituto Nacional de Ecología** (1993). Informe de la Situación en Materia de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente 1991-1992. México, df: Secretaría de Desarrollo Social Distrito Federal. https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf [Links]
- Superintendencia del Medio Ambiente de Chile**, (2020); Leyes de la Contaminación Lumínica en Chile, obtenido en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1091134&idParte=0>.
- Sveikauskas, L.** (1975). The productivity of cities. The Quarterly Journal of Economics, 89(3), 393-413. <https://doi.org/10.2307/1885259> [Links]
-

CERTIFICACIONES RELACIONADAS Y DESAFÍOS DE LA INDUSTRIA LUMÍNICA

Por:

María Elizabeth Puelles Bulnes
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Oscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

5. Certificaciones relacionadas y desafíos de la industria lumínica

Una certificación ambiental implica, para el que lo solicita y obtiene, acreditar su compromiso con el medio ambiente, minimizando los impactos y favoreciendo la mejor gestión de los recursos, se convierte en un factor de diferenciación competitiva. En el Perú, para diferentes proyectos en el sector público y privado, se exige alguna certificación (Senace)

La certificación es un procedimiento mediante el cual un tercero otorga una garantía escrita de que un producto, elaboración o servicio está en conformidad con ciertas normas (ISO, 2010). El certificado, se basa en un informe de inspección de cumplimiento de ciertas normas, que es muy importante porque demuestra al comprador que el proveedor cumple con las normas relacionadas al producto o servicio.

Los sistemas de evaluación y certificación de la sostenibilidad en los edificios, hacen referencia a parámetros ambientales y establecen una jerarquía en función del nivel de sostenibilidad alcanzado. El objetivo consiste en alcanzar la sostenibilidad global del edificio en todo su ciclo de vida.

Las diversas certificaciones internacionales son una de las mejores herramientas para garantizar que los proyectos hayan sido desarrollados de acuerdo a estándares y lineamientos internacionales de sostenibilidad. Ellos buscan como prioridad la reducción del consumo energético y de las emisiones de CO₂, así como la refrigeración y monitorización sin CFC, la incorporación de estrategias pasivas como la orientación del edificio, aprovechamiento de la masa térmica y de la energía solar, la ventilación natural o el aprovechamiento de la luz natural, reduciendo el impacto sobre la salud de las personas debido al uso de determinados materiales en los edificios, o la aplicación de estrategias en el diseño con flexibilidad, madera certificada, etc..

Por consiguiente, cada certificación propone diferentes estrategias y prioriza una calidad mínima del ambiente interior, el control del humo del tabaco, el almacenamiento y recogida de residuos separada, y el control de la gestión de residuos durante la construcción y demolición del edificio optimizando el confort y seguridad de las personas.

5.1. Historia

El Perú cuenta con la Política Energética Nacional 2010-2040, aprobada mediante Decreto Supremo N°064-2010-EM, Ministerio de Energía y Minas (Minem. 2010). En dicha política se sustenta la protección a la inversión privada, en los conceptos de desarrollo sostenible, minimización de impactos sociales y ambientales, desarrollo de energías renovables, entre otros. En ese contexto, el Minem se encuentra implementando el Proyecto PNUMA N°5070-2720-4C68, Transformación del Mercado de Iluminación en el Perú, el cual tiene como objetivo principal optimizar y reducir el consumo de energía, mediante la transformación del

mercado peruano de iluminación, a través de la capacitación, promoción, sensibilización e implementación de la utilización de lámparas de bajo consumo y la eliminación progresiva de las lámparas incandescentes.

La meta es eliminar las barreras existentes a la iluminación eficiente con la creación de un entorno institucional a favor de la eficiencia energética en iluminación mediante la promoción de tecnologías novedosas de alto rendimiento y sostenibles ambientalmente, como son las lámparas LED y las lámparas CFL3 y LFL4 (Instituto Cuánto, 2015). En lo que respecta a la política comercial, hace más de 20 años que el Perú se ha optado por una política de apertura con el objetivo de incrementar el bienestar de la población y obtener ventajas por medio de la especialización del mercado internacional (OMC, 2013). Por otro lado, para las importaciones de este tipo de productos, no se tienen mayores barreras de tipo no arancelario, solo es necesario e importante cumplir con el Reglamento Técnico sobre el Etiquetado de Eficiencia Energética para todos los Equipos Energéticos, el cual fue aprobado mediante Decreto Supremo N°009-2017-EM y hasta la presente fecha se encuentra vigente desde abril de 2017 (Minem 2017).

Debido al apoyo de las importaciones de equipos energéticos, las adopciones son cada vez más aceleradas en el uso de la tecnología LED, que se basan en mejoras continuas en costos y desempeño y colocan a esta tecnología LED con una gran ventaja competitiva e representativa frente a otras tradicionales o convencionales en nuestro país. Por otro lado, sabemos y hemos experimentado que los focos LED tienen una vida útil más larga, con un ahorro energético del 85% respecto a los focos incandescentes y son altamente amigables con el medio ambiente y minimizando el costo del uso de la energía con un foco LED. Igualmente, es necesario recalcar que las luminarias LED presentan la tendencia a continuar disminuyendo cada vez más su costo operativo total respecto al resto de tecnologías, con lo cual se prevé que el costo disminuya en un 38% adicional hasta el 2020 (The Goldman Sachs Group, Inc. 2016:34). Con este desarrollo también se encuentra la importancia de la certificación lumínica, donde existe el cumplimiento de los estándares mínimos exigidos por la Regulación en temas de seguridad y calidad, además le da tranquilidad de tener un edificio seguro, amigable con el medio ambiente y con toda clase de confort y salud.

5.3. Certificaciones internacionales con presencia en el Perú:

5.3.1. Certificación Leed

Es una certificación Inglesa denominada LEED (Leadership In Energy And Environmental Design), se trata de un sistema de certificación de edificios sostenibles más usado en el mundo. Esta certificación fue desarrollada en 1993 por parte del US Green Building Council (el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos), es un conjunto de normas y requisitos con cuyo cumplimiento se entiende que los edificios certificados son sostenibles. Poco a poco fue adentrándose en países de todo el mundo, y ya constituye una certificación muy habitual en la construcción contemporánea.

La certificación LEED proporciona una verificación independiente de las características sostenibles de un edificio o de un desarrollo urbano, lo que permite que el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los mismos sea más eficiente en el uso de recursos, de alto rendimiento, más saludables y rentables. Esta es la certificación más utilizada en nuestro país, (PERUGBC, 2021).

Criterios que evalúa la certificación LEED

Evalúa los edificios en total según 6 criterios y pese a que todos estos criterios son importantes, la eficiencia energética es el valor que más puntúa, buscando el ahorro, beneficioso tanto para el medio ambiente como para los que utilizan el edificio (CERTICALIA, 2021):

Los 6 criterios son:

- 1- Recursos de construcción y Sostenibilidad en los materiales.
- 2- Aprovechamiento y Eficiencia del agua, tanto durante la construcción del mismo como cuando el edificio esté en uso con el fin que se planeó en un principio (reutilización del agua y evitar las fugas).
- 3- Eficiencia energética desde la construcción, contando además con el menor impacto atmosférico.
- 4- Materiales y recursos empleados que sean respetuosos con el medio ambiente.
- 5- Calidad del ambiente interior que permita la óptima habitabilidad del mismo, sin tener que recurrir a más energía que la necesaria para caldear o enfriarlo.
- 6- Innovación en el proceso de diseño, dando protagonismo a todos los recursos ecoeficientes.

De acuerdo al cumplimiento de las exigencias del Certificado es puntuado y obtiene un determinado certificado.

Figura N°1



Fuente: <https://artchist.blogspot.com/2015/09/certificado-energetico-leed.html>

Beneficios de los edificios con certificado LEED

La certificación LEED aporta no solo el prestigio de saber que ese edificio es sostenible y respetuoso con el medio ambiente, sino que también supone para el propietario o constructor del mismo:

- Los costes de operación son menores, mientras que el valor del inmueble aumenta.
- Se reducen los residuos que se envían a los vertederos, con el ahorro del traslado de los mismos, además de evitar tener que eliminar esos residuos en la naturaleza.
- Una mejor conservación de la energía y del agua.
- Edificios más saludables y seguros para sus ocupantes, tanto si se destinan para viviendas como si son centros de trabajo.
- Se reduce la emisión a la atmósfera de gases nocivos de efecto invernadero.
- Los propietarios pueden beneficiarse de desgravaciones fiscales por contar con este tipo de construcción. Además, en algunos municipios, se mejoran los permisos de zonificación y se obtienen otro tipo de incentivos.

- Demuestran la concienciación del propietario con el cuidado del medio ambiente, lo que supone que las empresas que participan en su construcción o que se instalan en el mismo cuenten con una percepción mejor por parte de los clientes.

Además, de la certificación de edificios, existen programas para la formación y titulación de profesionales que avalan los conocimientos y habilidades requeridos pero que su revalidación es periódica para garantizar la actualización de la profesión.

Un edificio con certificación LEED, es un edificio con disminución de costes operaciones importantes, porque aumenta la productividad de los habitantes ya que su diseño es para satisfacer y crear una gran calidad en sus espacios ya sea con una iluminación natural, control térmico, control de niveles acústicos, ventilación, etc. Es un certificado de reconocimiento del trabajo enfocado al compromiso y responsabilidad con el medio ambiente y de muestra sociedad, como podemos apreciar la siguiente figura:

Figura N°2



Fuente: <https://artchist.blogspot.com/2015/09/certificado-energetico-leed.html>

5.3.2. Certificación Edge

EL IFC, miembro del Grupo Banco Mundial, es una de las mayores instituciones globales de desarrollo, dedicada exclusivamente a promover al sector privado en los países emergentes. El IFC apoya a través de financiamientos proyectos y a empresas a través de préstamos por cuenta propia, por lo general de siete a 12 años.

El IFC, miembro del Grupo Banco Mundial, creó la certificación EDGE para hacer frente a los desafíos que enfrentan los mercados emergentes alrededor del mundo. EDGE es una innovación del IFC, miembro del Grupo del Banco Mundial, la cual permite construir de manera sostenible, más rápida, fácil y accesible. Green Business Certification Inc. (GBCI) y Sintali-SGS son los proveedores de servicios de certificación EDGE en el Perú.

Su importancia radica en el hecho de permitir al mercado inmobiliario peruano construir de manera sostenible. Estas instituciones pueden certificar un proyecto de manera que le permita aumentar su comercialización en la etapa de diseño. El sistema de certificación es centrado en la creación de edificios que sean más eficientes en el uso de recursos para tipos de proyecto comerciales y residenciales de nueva construcción.

Por su ubicación geográfica, el Perú es vulnerable a los efectos del cambio climático, ya que es propenso a los desastres naturales, sequías y fenómenos que afectan desproporcionadamente a los más pobres en las zonas rurales. En términos demográficos, el 80 % de la población radica en zonas urbanas; las proyecciones al 2050 señalan que esto crezca al 86%, dada la tasa de migración del campo a la ciudad. Observamos, que las ciudades del Perú se hacen más grandes, en tal sentido, en los diferentes niveles de decisión política (gobierno central, regional y local) se debe exigir que se cumplan el mencionado certificado y el personal que desea invertir en la construcción de edificios deben realizarlo de acuerdo a la certificación, para asegurar que los edificios se construyan en forma sostenible y el país crezca de una manera sostenible. La gran ventaja que la certificación EDGE permite a los propietarios y equipos de diseño evaluar y comparar rápidamente los costos estimados en las estrategias de diseño dirigidas a la reducción del uso de agua, consumo de energía y la energía incorporada en los materiales.

La certificación EDGE brinda una solución: capitalizar el valor de los edificios verdes mediante la promoción de los beneficios para los clientes, mientras se protege el medio ambiente. La certificación EDGE, es posible mantenerse a la vanguardia en la tendencia de la construcción verde, (EDGE, 2021).

Figura N°3



Fuente: <https://habitatdelosandes.com/aprende-sobre-la-construccion-sostenible-y-la-certificacion-edge/>

Además del ahorro mencionado anteriormente, la presente certificación EDGE permite a los ingenieros civiles e arquitectos contar con lineamientos para obtener el mejor rendimiento en el diseño de la construcción. No solo el mercado inmobiliario se ve beneficiado, lo importante que las entidades financieras reducen el riesgo al contar con un proyecto certificado como construcción sostenible EDGE.

Por último, y lo más importante: el mayor beneficio lo tiene el propietario del inmueble. Una construcción sostenible tendrá un mayor valor de mercado. Por ello, la certificación EDGE va de la mano con un desarrollo sostenible de las ciudades y es un paso adelante en la construcción de inmuebles, (Cámara Colombia de Construcción, 2021).

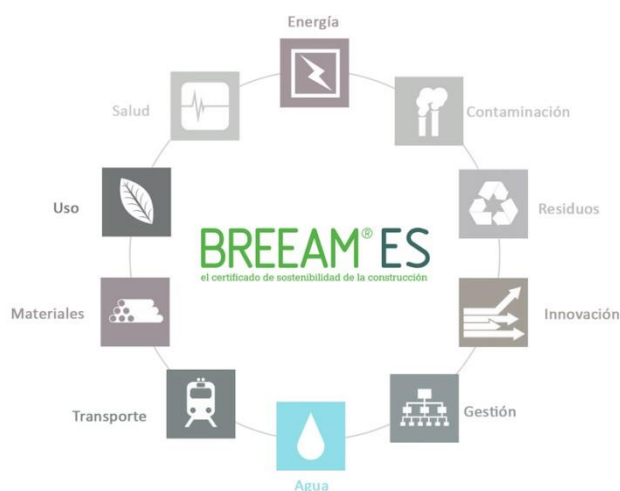
5.3.3 Certificación Breeam

La certificación aparece en 1998, en forma simultánea con su equivalente norte americano (Leed). La certificación BREEAM, de origen británico, por sus siglas en inglés “Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology” es el método de evaluación y certificación de la sostenibilidad de la edificación técnicamente más avanzado y líder a nivel Europa, con más 22 años en el mercado.

La presente certificación considera la necesidad de afrontar la contaminación lumínica, según el autor (De la Torre, 2016), indica: “... que a través, de un análisis y un diseño que garantice la reducción de la contaminación lumínica que provoca molestias a las comunidades y que favorezca la conciliación vecinal”. Una de las ventajas, mide el nivel de sostenibilidad ambiental de edificaciones. Esta medición se desarrolla en todas las fases de la edificación, a partir de la fase de diseño, ejecución y hasta el mantenimiento respectivo.

Los certificados suelen agrupar los diferentes requisitos a evaluar en bloques temáticos. En BREEAM ES existen 10 categorías. En cada una se evalúan diferentes aspectos y se establece un sistema de puntuación en función de los hitos registrados que se obtengan. Al final se realiza la suma de todos los puntos y en función del resultado final se obtiene de las categorías:

Figura N°4



www.hidrologiasostenible.com

Fuente: <http://www.hidrologiasostenible.com/construccion-sostenible-certificado-breeam-y-el-agua/>

Estas puntuaciones, y los apartados que incluye cada categoría, dependen de la certificación a la que se vaya a optar, que será la correspondiente al tipo de proyecto que se desea obtener.

La certificación BREEAM, es orientada a la construcción de diferentes tipos de edificios, con criterios de sostenibilidad. El autor, De la Torre (De la Torre, 2016) señala que Breeam constituye una “Certificación de la sostenibilidad de la edificación cuyos principios fundamentales son: asegurar la calidad ambiental a través de una medida accesible, holística y equilibrada de los impactos ambientales y utilizar el conocimiento científico y las mejores prácticas como base para cuantificar y calibrar un comportamiento rentable y riguroso que permita definir la calidad ambiental”. El certificado ofrece según la puntuación de acuerdo a las exigencias:

Figura N°5



Fuente: <http://www.hidrologiasostenible.com/construccion-sostenible-certificado-breeam-y-el-agua/>

De la Torre (2016), nos reseña las principales formas de certificación Breeam:

- Breeam ES Vivienda: para viviendas unifamiliares y viviendas en bloque
- Breeam ES Nueva Construcción: para edificios nuevos
- Breeam ES Nueva Urbanismo: para mejorar la sostenibilidad de un desarrollo urbanístico

Por otro lado, los autores Calera y Maguiña (Calera y Maguiña, 2020), reseñan los niveles de la certificación Breeam: Pasante, Bueno, Muy Bueno, Excelente y Sobresaliente. Destacan además que en el Perú hay aproximadamente 145 edificios con certificación de edificios sostenibles.

El certificado BREEAM, favorece una construcción más sostenible que se traduce en una mayor rentabilidad para quien construye, opera y/o mantiene el edificio; lo importante coopera con la reducción de su impacto en el medio ambiente; y sobre todo un mayor confort y salud para quien vive, trabaja o utiliza el edificio. Las categorías de evaluación de la herramienta como se puede ver la siguiente figura:

Figura N°6



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Categorias-de-evaluacion-de-la-herramienta-de-certificacion-BREEAM_fig23_336241907

5.3.4. Certificación Starlight

La presente certificación, se encuentra asociada a la actividad turística, tiene carácter voluntario. Inició en el 2007, como consecuencia de la Declaración sobre la Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas y fue creada para fomentar internacionalmente la mejora de la calidad de la oferta turística desde una perspectiva de protección y defensa de los cielos, así como una perspectiva científico-cultural (AEC, 2019), (Valera, 2020).

El sistema de certificación tiene en cuenta seis áreas de análisis que evalúan los procesos de gestión relacionados con los aspectos del “Destino Starlight”, (AEC, 2019):

- ✓ Calidad y satisfacción de los usuarios por el lado de la demanda (turistas y sociedad civil).
- ✓ Calidad y satisfacción por el lado de la oferta: gobierno, sector privado, comunidad científica, comunidad local y otros actores involucrados.
- ✓ Estrategia y gestión de los recursos relacionados con la luz de las estrellas.
- ✓ Requisitos ambientales (calidad del cielo nocturno) y requisitos relativos a los recursos técnicos, infraestructuras y servicios.
- ✓ Gestión del conocimiento (información, investigación e innovación).
- ✓ Macrogestión del Programa Starlight y retroalimentación.

En el portal web de la Fundación Starlight (Fundación Starlight, 2020), se señala que “se acreditan aquellos espacios que poseen una excelente calidad de cielo y que representan un ejemplo de protección y conservación”.

Son tres los tipos de certificación que ofrece esta entidad, asociada a la Unesco:

- **Reservas Starlight:** espacio natural protegido en donde se establece un compromiso por la defensa de la calidad del cielo nocturno y el acceso a la luz de las estrellas.
- **Destinos Turísticos Starlight:** lugares visitables, que gozan de excelentes cualidades para contemplar los cielos estrellados y desarrollar actividades turísticas basadas en ellos
- **Otras Modalidades:** los Alojamientos Starlight, que son establecimientos con unas condiciones idóneas para el astro turismo; también parques estelares, entre otros.

Figura N°7



Fuente: www.fundaciónstarlight.org/

Para acceder a esta certificación es necesario someterse, voluntariamente, a una auditoría, cuyos principales criterios son, (Fundación Starlight, 2020):

- ✓ Requisitos ambientales (calidad del cielo nocturno y diurno) y relativos a recursos naturales, culturales y científicos.
- ✓ Estrategias en alumbrado inteligente e innovación.
- ✓ Requisitos relativos a los recursos técnicos, infraestructuras y servicios.
- ✓ Calidad y satisfacción por el lado de la oferta: gobierno, sector privado, comunidad científica, comunidad local, monitores y guías astronómicos Starlight y otros actores involucrados.
- ✓ Estrategia y gestión de los recursos relacionados con la luz de las estrellas.
- ✓ Calidad y satisfacción de los usuarios por el lado de la demanda (turistas y sociedad civil).
- ✓ Gestión del conocimiento (investigación, innovación, educación e información).
- ✓ Macrogestión del Programa Starlight y retroalimentación.
- ✓ Los beneficios derivados de esta certificación se resumen en la siguiente figura:

Figura N°8



Fuente: www.fundaciónstarlight.org/

5.4. Desafíos de la industria lumínica

En el mercado peruano existe una gran diversidad de marcas que comercializan principalmente luminarias tradicionales e convencionales, productos cuyos márgenes se han ido reduciendo paulatinamente con los años. En este contexto, algunas empresas han introducido la línea de tecnología LED; sin embargo, en el medio plazo se presentará una tendencia de saturación en el mercado de estas tecnologías y, por lo tanto, la reducción significativa de márgenes, se hace necesario desarrollar nuevas estrategias frente a esta situación mediante la búsqueda de nuevos nichos de mercado.

Lograr una iluminación industrial eficiente implica una serie de desafíos y retos para los que conviene estar preparado o recibir la asesoría de especialistas en la materia, pues se trata de pautas y lineamientos que de cumplirse cabalmente para lograr una mayor productividad de la empresa. Uno de los primeros pasos principales es considerar el aspecto económico, el cual engloba varios conceptos, tales como realizar la siguiente pregunta, ¿qué porcentaje del consumo de energía eléctrica corresponde al alumbrado de la planta industrial de la empresa.

La obtención de las certificaciones vistas anteriormente tienen los siguientes desafíos:

- ✓ **Energía y aprovechamiento de energías renovables:** Todos los certificados consideran como prioridad la reducción del consumo energético y de las emisiones de CO₂, así como la refrigeración y monitorización sin CFC. El certificado LEED incluye como prerequisite la medición del consumo energético y el compromiso de compartir datos de consumo de energía durante 5 años, así como la existencia del Commissioning Authority, es un agente especializado en la puesta en marcha y funcionamiento de las instalaciones del edificio.
- ✓ **Bioclimatismo:** Como el caso de la certificación BREEAM; la incorporación de estrategias pasivas como la orientación del edificio, aprovechamiento de la masa térmica y de la energía solar, la ventilación natural o el aprovechamiento de la luz natural. En el caso de LEED propone estas estrategias en forma de créditos alcanzables,

pero también incluye un crédito (Site Assessment) que consiste en el análisis previo, en fases iniciales del proyecto, para evitar costes y decisiones improvisadas en fases más avanzadas del proyecto.

- ✓ **Eco-construcción:** El certificado BREEAM establecen como prioritarias, las estrategias dirigidas a la gestión responsable en el consumo de recursos y la generación de residuos, y a la mejora de la calidad ambiental interior de los edificios. Reduciendo el impacto sobre la salud de las personas debido al uso de determinados materiales en los edificios, o la aplicación de estrategias en el diseño (industrialización, desmontabilidad, flexibilidad, madera certificada, etc.). En el caso de la LEED propone estas estrategias en forma de créditos alcanzables, y prioriza una calidad mínima del ambiente interior, el control del humo del tabaco, el almacenamiento y recogida de residuos separada, y el control de la gestión de residuos durante la construcción y demolición del edificio.
- ✓ **Entorno:** El transporte sostenible asociado a los edificios -transporte público, bicicletas, aparcamiento eléctrico- o la limitación de la contaminación lumínica son estrategias prioritarias a evaluar sobre todo en BREEAM, considera también prioritario, la evaluación de la presencia de gas radón o los oficios locales.
- ✓ **Agua:** La importancia de la reducción del consumo de agua exterior y interior, así como la medición del consumo son prioritarios en LEED (prerrequisitos), y requiere del compromiso de compartir los datos de consumo durante cinco años desde la ocupación o certificación del edificio, al igual que ocurre con el consumo de energía. Además incluye un crédito alcanzable cuyo objetivo consiste en explorar todas las oportunidades disponibles en el lugar, para la reducción del consumo de agua potable, y la reducción de las aguas residuales así como su depuración in-situ.

5.5. Conclusiones

Todos los sistemas de evaluación y certificación lumínica, hacen referencia a parámetros ambientales y establecen una jerarquía en función del nivel de sostenibilidad alcanzado. Un edificio que ha sido diseñado con una base de construcción de manera sostenible, tanto en el funcionamiento y la utilización del mismo es un edificio que ofrece múltiples ventajas, porque:

1. Es un edificio eficiente puesto que consume menos energía y agua, genera menos residuos y optimiza las oportunidades en su entorno.
 2. Es un edificio competitivo y su valor en el mercado aumenta minimizando los costes de mantenimiento y los consumos de recursos y valor residual al final de su vida útil.
 3. Es un edificio duradero, funcional, confortable y accesible tanto para habitar y trabajar en él, y por ello lógicamente mejora la productividad de los ocupantes, ya que aumenta la satisfacción de los empleados.
 4. Es un edificio atractivo, respetuoso con el entorno y la salud de las personas, lo importante que se integra en su medio cultural y patrimonial.
 5. Es un edificio que mejora su imagen de cara a la sociedad, puesto que proyecta valores relacionados con la preocupación medioambiental.
-

Literatura Citada

- CERTICALIA.** (2021). <https://www.certicalia.com/certificacion-leed/que-es-la-certificacion-leed>
- EDGE,** (2021). Edge en Perú. <https://edgebuildings.com/certify/peru/?lang=es>
- ISO,** (2010). Organismos Nacionales de Normalización en Países de Desarrollo. https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/fast_forward-es.pdf
- PERUGBC,** (2021). Peru Green Building Council. <https://www.perugbc.org.pe/site/certificaciones>
- AEC.** (2019). Revista QIN. Asociación Española para la Calidad (AEC) © 2019. <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/certificacion-starlight>
- Fundación Starlight,** (2020). <https://www.fundacionstarlight.org/contenido/42-que-son.html>
- Calera, A & Maguiña, L** (2020). Análisis de los niveles de sostenibilidad en edificaciones con certificación LEED. Tesis de Ingeniería Civil, PUCP, Lima, Perú.
- De la Torre, José** (2016) Criterios de sostenibilidad en las certificaciones LEED, BREEAM y VERDE para el uso de pinturas, recubrimientos y TVOCs en edificación. Tesis de Ingeniería Mecánica, Universidad de Vigo, España.
- Instituto Cuánto.** (2015). “Estudio de mercado de la iluminación en el Perú. Informe final. Junio 2015”. Lima: Instituto Cuanto. [PDF]. Fecha de consulta: 05/12/2017. Disponible en: <http://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2017/02/00-Informe-Final-01Feb2016_Eficiencia-Energe%CC%81tica-final.pdf>.
- Ministerio de Energía y Minas (Minem).** (2010). “Decreto Supremo N°064-2010-EM, Aprueban la Política Energética Nacional del Perú 2010-2040”. En: *osinerg.gob.pe*. [PDF]. 24 de noviembre de 2010. Fecha de consulta: 05/12/2017. Disponible en: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-064-2010-EM-CONCORDADO.pdf>.
- Organización Mundial del Comercio (OMC).** (2013). “Examen de las Políticas Comerciales. Informe de la Secretaría. Perú”. En: *wto.org*. [PDF]. 09 de octubre de 2013. Fecha de consulta: 20/07/2017. Disponible en: <https://www.wto.org/spanish/tratop_s/tpr_s/s289_s.pdf>.
- Varela, Antonia** (2020) Certificación internacional Starlight: el cielo oscuro como un recurso de economía sostenible. Instituto de Astrofísica de Canarias, Universidad de La Laguna, España.
- Cámara Colombiana de la construcción.** (2021). EDGE, Excellence in design for greater efficiencies. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://camacol.co/edge>
-