

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso
sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado
público en Costa Rica**

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

Autores:

Erika Acosta Secuiu
Octavio Quirós Quirós

Tutor:

M.Sc. Víctor Valverde Espinoza

Lectores:

Arq. Carlos Ugalde Hernández
Ing. Steven Sánchez Lobo

Heredia, 2018.

ACTA DE APROBACIÓN

El Tribunal Examinador aprobó el trabajo titulado
**PROPUESTA DE CONCEPTUALIZACIÓN DE UNA NORMATIVA PARA EL
USO SUSTENTABLE DE LA LUZ EN LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE
ALUMBRADO PÚBLICO EN COSTA RICA**
Como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con
énfasis en Ingeniería Sanitaria

Miembros del Tribunal

Representante del Decano Facultad de Tierra y Mar

Director Escuela Ciencias Ambientales

Tutor(a)

Lector (a) Lector(a)

Erika Acosta Secuiu

Octavio Quirós Quirós

Fecha: _____

RESUMEN EJECUTIVO

Una de las principales características del servicio de alumbrado público en Costa Rica es que este se encuentra regulado, pero no normalizado en términos de calidad de la iluminación y eficiencia energética en respuesta a los estándares internacionales para la prevención de los efectos negativos de la contaminación lumínica.

Por esta razón, la presente investigación tiene como objetivo la conceptualización de una propuesta de normativa que permita un uso sustentable de la luz, dirigida a la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica. Para el cumplimiento de este objetivo se dividió el proceso en diferentes etapas.

Inicialmente, se diagnosticó la gestión del servicio de alumbrado público a nivel organizativo, operativo y tecnológico en Costa Rica, mediante el análisis de información primaria y secundaria, además de la aplicación de entrevistas a actores sociales vinculados directa o indirectamente con la prestación del servicio, con lo cual se determinaron los actores claves y las sinergias necesarias para la adopción de una herramienta que evite la contaminación lumínica en el parque de alumbrado público del país.

Se realizó una revisión teórica de las posibles formas de agresión ambiental derivadas de la iluminación artificial, así como de las variables luminotécnicas que evitan o minimizan los efectos no deseados de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público, identificando a su vez las tecnologías disponibles en el país que lo permiten.

Efectivamente, se determinó una gran capacidad para la ejecución de la propuesta mediante la articulación de tareas entre los prestatarios del servicio y las municipalidades, apoyados en los procesos licitatorios y la comprobación de parámetros mediante pruebas del laboratorio de Eficiencia Energética del ICE.

Como resultado final, se obtuvo la conceptualización de una propuesta de normativa viable para la prestación de un servicio de alumbrado público que contempla los parámetros luminotécnicos internacionalmente reconocidos para procurar una gestión inocua del servicio desde la perspectiva del uso de la luz, y así asegurar la calidad, la protección del ambiente, de los cielos nocturnos y la salud pública.

TABLA CONTENIDOS

ACTA DE APROBACIÓN	ii
RESUMEN	iii
TABLA CONTENIDOS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
Justificación	2
Planteamiento del problema.....	5
Objetivos.....	7
CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL	8
2.1. Luz y sistemas de iluminación.....	8
2.1.1. Naturaleza física de la luz	8
2.1.2. Espectro visible	8
2.1.3. Espectro luminoso	9
2.1.4. Campo visual del ser humano	10
2.1.5. Aspectos no visuales de la luz.....	11
2.1.6. Magnitudes Fundamentales de la luz	12
2.1.7. Iluminación.....	13
2.1.8. Eficiencia energética	13
2.2. Crecimiento poblacional y sustentabilidad urbana	14
2.3. Servicio Público	14
2.4. Contaminación lumínica	15
2.4.1. Manifestaciones de la contaminación lumínica	15
2.4.2. Marco normativo e institucional en Costa Rica	17
<i>Escénico, cultural y científico</i>	17
<i>Salud Pública y Ecosistemas</i>	18
<i>Administrativo</i>	18
2.4.3. Normativas internacionales	19
2. MARCO METODOLÓGICO	20
3.1. Tipo de investigación.....	20

3.2. Enfoque de investigación.....	20
3.3. Diseño de la investigación	21
3.4. Objeto de estudio	21
3.5. Unidades de análisis.....	22
3.6. Tipo de muestreo y determinación de la muestra	22
3.8. Etapas de la investigación.....	23
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	26
4.1. Problemáticas ligadas a la Contaminación Lumínica	26
4.1.1. Efectos por incremento de los niveles lumínicos en ecosistemas naturales nocturnos	28
4.1.2. Incremento de niveles lumínicos en hábitats de descanso humanos	34
4.1.3. Resplandor luminoso de la cúpula celeste.....	38
4.2 Medidas existentes para la gestión del alumbrado público que procure un ambiente sano	40
4.3. Diagnóstico situacional del Alumbrado Público en Costa Rica	52
4.3.1. Nivel organizacional	52
4.3.2. Nivel operativo.....	67
4.3.3. Nivel tecnológico	82
4.4. Validación de la propuesta del eje ambiental para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público.....	89
4.5. Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en el servicio de alumbrado público	90
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	102
5.1. Análisis situacional de impactos negativos en los entornos: ecosistemas naturales, hábitats de descanso humano y la cúpula celeste.....	102
5.1.1. Análisis situacional por la incidencia de la iluminación artificial en ecosistemas naturales nocturnos de Costa Rica	102
5.1.2. Análisis situacional del incremento de los niveles lumínicos en hábitats de descanso humanos	103
5.1.3. Análisis situacional del resplandor luminoso en la cúpula celeste en el país ..	103

5.2. Análisis del nivel organizacional para la gestión del alumbrado público en Costa Rica	105
5.3. Análisis de las tecnologías que conforman el parque de ALPU en Costa Rica.....	106
5.4. Análisis del parque de alumbrado público nacional respecto a su momento de transición tecnológica	108
5.5. Evaluación de empleo de medidas mínimas para la minimización de la CL en la prestación del servicio de ALPU.	110
5.6. Análisis de la pertinencia y aplicabilidad de la propuesta del eje ambiental para un uso sustentable de la luz en el servicio de alumbrado público	111
5.7. Limitaciones metodológicas durante la investigación	114
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
Bibliografía.....	117
ANEXOS	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Contaminación Lumínica..	6
Figura 2. Rango de luz de calidad del espectro.	9
Figura 3. Temperaturas de color comunes para distintas fuentes de luz.	44
Figura 4. Distribución espectral para una luminaria tipo LED con una TCC DE 2700K... ..	45
Figura 5. Distribución espectral para una luminaria tipo LED con una TCC DE 3033K... ..	46
Figura 6. Composición espectral de tres fuentes de luz mayormente utilizadas en la iluminación de exteriores:	46
Figura 7. Conformación del parque de alumbrado público a febrero de 2017	82
Figura 8. Dinámica interinstitucional propuesta.....	92
Figura 9. Muestra distribución espectral para VSAP..	107

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Objetivos planteados.....	7
Cuadro 2. Conformación de las unidades de análisis.	22
Cuadro 3. Técnicas a implementar.	24

Cuadro 4. Efectos de la contaminación lumínica como valores de la oscuridad.....	27
Cuadro 5. Efectos biológicos a ciertos niveles lumínicos en animales nocturnos.	29
Cuadro 6. Categorías de zonificación de iluminación medioambiental siguiendo la Norma CIE-150.	41
Cuadro 7. Valores máximos de la iluminancia vertical en propiedades.....	49
Cuadro 8. Valores máximos para la intensidad de las luminarias en direcciones determinadas.....	50
Cuadro 9. Aspectos de publicada exterior luminosa regulados por las municipalidades que conforman la unidad de análisis.	56
Cuadro 10. Percepción sobre la contaminación lumínica por parte del ente regulador y entes rectores que conforman la unidad de análisis, Parte 1.	60
Cuadro 11. Percepción sobre la contaminación lumínica por parte del ente regulador y entes rectores que conforman la unidad de análisis, Parte 2.	63
Cuadro 12. Índice de Cobertura Eléctrica según Empresa Distribuidora a Julio 2017.	68
Cuadro 13. Cantidad de luminarias instaladas y porcentaje de participación por empresa distribuidora a Julio 2017.	69
Cuadro 14. Percepción sobre la contaminación lumínica por parte de los prestatarios del servicio de alumbrado público, Parte 1.	70
Cuadro 15. Percepción sobre la contaminación lumínica por parte de los prestatarios del servicio de alumbrado público, Parte 2.	74
Cuadro 16. Resultados sobre la base técnica e institucional.	78
Cuadro 17. Cantidad de luminarias del parque de alumbrado público según tecnología y potencia.....	83
Cuadro 18. Total de luminaria instaladas vs porcentaje instalado de LEDS.....	84
Cuadro 19. Instalación de luminarias por empresa eléctrica para el año 2017.	85
Cuadro 20. Evaluación de las medidas mínimas para la minimización de la CL aplicadas por los prestatarios del servicio de ALPU.	85
Cuadro 21. Categorías de zonificación de iluminación medioambiental siguiendo la Norma CIE-150.	93
Cuadro 22. Valores máximos de la iluminancia vertical en propiedades.....	97
Cuadro 23. Valores máximos para la intensidad de las luminarias en direcciones determinadas.....	98
Cuadro 24. Criterios de selección de fuentes de luz a utilizar en función de la zona de protección.	100

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ALPU Alumbrado público

ARESEP Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos

CEI Comité Español de Iluminación

CIE Comisión Internacional de la Iluminación.

CNFL Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A.

CONACE Comisión Nacional de Conservación de Energía

COOPEALFARORUIZ Cooperativa de Electrificación Rural de Alfaro Ruiz R.L.

COOPEGUANACASTE Cooperativa de Electrificación Rural de Guanacaste R.L

COOPELESCA Cooperativa de Electrificación Rural en San Carlos R.L

COOPESANTOS Cooperativa de Electrificación Rural Los Santos R.L

CVP Contaminación Visual Paisajística

DIGECA Dirección de Gestión de Calidad Ambiental

ESPH Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A.

FHS Flujo Hemisférico Superior

GEI Gases de Efecto Invernadero

ICE Instituto Costarricense de Electricidad

IFAM Instituto de Fomento y Asesoría Municipal

IGM Índice de Gestión Municipal

INTECO Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica

IRC Índice de Reproducción de Color

JASEC Junta Administrativa del Servicio Eléctrico Municipal de Cartago

LED Light-Emitting Diod

LEE: Laboratorio de Eficiencia Energética

MINAE Ministerio del Ambiente y Energía

MINSA Ministerio de Salud

MOPT Ministerio de Obras Públicas y Transportes

SINAC Sistema Nacional de Áreas de Conservación

TCC Temperatura de Color Correlacionada

VII PNE: VII Plan Nacional de Energía

VSPA Vapor de Sodio de Alta Presión

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación lumínica es un tipo de degradación ambiental que se ha caracterizado por la facilidad con que se expande e intensifica en el planeta y a pesar de ello, sigue siendo uno de los tipos de contaminación menos percibidos. Sus niveles han estado creciendo exponencialmente sobre los niveles de iluminación nocturna natural, provistos por la luz de las estrellas y la luna (Falchi et al. 2011).

Inicialmente este tipo de contaminación fue percibida como un problema que atañía exclusivamente al sector astronómico, ya que los primeros observatorios astronómicos se encontraban cerca de ciudades que fueron iluminadas de tal forma que degradaron la calidad del cielo nocturno, afectando directamente el trabajo e investigación que se realizaba en estos observatorios (Sánchez 2016).

La creciente preocupación de la comunidad astronómica provocó que en la década de 1970 se empezaran a generar los primeros estudios y modelos de predicción sobre la contaminación lumínica. Estos primeros aportes lograron determinar que este tipo de contaminación no solo afecta los estudios astronómicos, sino que también implica graves consecuencias negativas para el ambiente y la salud humana (Parra y Paredes 2014, Sánchez 2016).

Actualmente las evidencias epidemiológicas y fisiológicas vinculan la contaminación lumínica y la luz artificial durante la noche a varias patologías, como el insomnio, la depresión y trastornos metabólicos, la diabetes, la obesidad y el cáncer (Cinzano y Falchi 2013), dado a que la exposición a la luz durante la noche disminuye la producción y la secreción de melatonina pineal. Esta información que es ampliada en el capítulo de resultados.

Considerando los efectos negativos que puede producir una iluminación pública inadecuada y el contexto nacional carente de una regulación respecto al alumbrado público que contemple un eje ambiental, la siguiente investigación no solo posiciona la problemática como un nuevo ámbito de trabajo pendiente de abordar desde la aplicación de los principios de gestión ambiental, sino que busca también la conceptualización de una

propuesta de normativa que asegure un uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público (ALPU) en Costa Rica.

Justificación

La luz artificial ha sido uno de los factores determinantes del progreso social y tecnológico experimentado por el mundo durante el último siglo, no obstante, este logro no se ha realizado sin repercusiones, pues el crecimiento (muchas veces indiscriminado del alumbrado artificial, consecuencia de la falta de regulación) dio lugar a una nueva forma de agresión ambiental conocida como contaminación lumínica (Bugallo et al.2000).

La contaminación lumínica es considerada una de las formas de contaminación más generalizadas y de rápido crecimiento, siendo un tema poco advertido en Costa Rica, pues hasta el momento existe escasa información tanto técnica como normativa. Esta puede definirse como la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o rangos espectrales en aquello que no es necesario para la realización de las actividades previstas en la zona en donde se instalarán las luminarias (Generalitat de Catalunya 2010) y engloba todos los efectos nocivos y no deseables provocadas por estas (Bugallo et al. 2000).

La pérdida del cielo oscuro ha sido uno de los efectos más inmediatos. La contemplación de este se hace cada vez más difícil e, incluso, para las jóvenes generaciones empieza a resultar desconocido (UNESCO 1992). A ese pronóstico se suma el hecho de que la actualización para el año 2016 del Atlas Mundial de Contaminación Lumínica indicó que un 83% de la población mundial vive en áreas con una alta contaminación lumínica, donde la difusión de la luminosidad artificial en el cielo rebasa un 10% más la del cielo nocturno en condiciones indemnes (Falchi et al. 2016)

La oportunidad de observar el firmamento es un componente de la calidad de vida cotidiana de la ciudadanía, así como un referente el cual permite valorizar y redescubrir el inmenso patrimonio cultural tangible e intangible acumulado por la humanidad observando los cielos nocturnos. Por esto, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través de la Declaración Universal de los Derechos de las Generaciones Futuras de 1997, establece que las personas de las generaciones futuras

tienen derecho a una Tierra indemne y no contaminada, incluyendo el derecho a un cielo puro, invitando a poner en práctica una nueva cultura de la luz y evitar así la contaminación luminosa.

La contaminación lumínica comprende otras dimensiones que afectan directamente múltiples facetas de la cotidianidad y el entorno. Como prueba de lo anterior, los seres vivos comparten la característica de poseer cambios rítmicos, en los cuales se desarrollan procesos de manera periódica y previsible llamados ritmos biológicos. Si estos ritmos se completan en lapsos de entre 20 y 28 horas son parte de los ritmos circadianos; estos ritmos cuando funcionan correctamente permiten a los organismos predecir y anticiparse a los cambios medioambientales para así adaptar sus funciones conductuales y fisiológicas. Sin embargo, cuando los ritmos circadianos sufren una alteración se induce al cerebro a una pérdida de la percepción de los ritmos internos y externos, provocando el aumento de riesgo de desarrollar enfermedades o al empeoramiento de patologías preexistentes; esta exposición prolongada a la luz durante las noches puede ser un causante de cronodisrupción (Bandín 2015).

Por una parte, estudios epidemiológicos en humanos han evidenciado que esta alteración del ciclo circadiano presenta una relación estadística con la incidencia del síndrome metabólico, de las enfermedades cardiovasculares, así como deterioro cognitivo, trastornos afectivos y envejecimiento acelerado; además se relaciona con el aumento del riesgo de padecer tipos de cáncer como el de próstata, mama y colorrectal (De Lama et al.2011). Por lo expuesto, esta investigación viene a fomentar la ordenación integrada y sustentable de las tecnologías para el ALPU con el fin de permitir el desarrollo humano y la conservación de los recursos naturales y ecosistemas, tal como se establece en la visión común de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible del 2012.

Por otra parte, este tipo de contaminación se relaciona estrictamente con la energía, la cual es un bien fundamental para el desarrollo económico y social de cualquier país, en consecuencia, es necesario su administración eficiente a partir de estrategias vinculantes entre el desarrollo sustentable y las necesidades de la población (De la Torre 2010). En el caso de Costa Rica, donde el 99,3% de la población tiene acceso al servicio eléctrico, es necesario contemplar un paradigma alternativo dirigido al uso racional de la electricidad, fomentar la adopción de tecnologías eléctricas eficientes con el fin de garantizar la

reducción del desperdicio, y así merme la presión de aumentar la oferta de potencia a partir del desarrollo de megaproyectos de alto impacto social y ambiental, igualmente minimizar la generación termoeléctrica con base en bunker y diesel, contribuyentes en gran medida de la emisión de gases de efecto invernadero (Blanco 2015). Por lo anterior, la prevención y control de la contaminación lumínica es uno de los pasos para lograr dicho paradigma alternativo de uso responsable de la electricidad; siendo en este estudio el ALPU un canal para su implementación.

Ahora bien, el derroche energético ocasionado por una excesiva y poco eficiente iluminación artificial, asociada al tipo de generación eléctrica predominante a nivel global, con altas tasas de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), se traduce en una contribución al cambio climático (Gortazar 2007), de modo que a partir de la aplicación de criterios, normas y estrategias para el control de la contaminación lumínica a mediano plazo se podría percibir una disminución en las emisiones de GEI.

Una de las más importantes fuentes de contaminación lumínica es el ALPU. Según el Código Municipal se cataloga como un servicio público y por ende de importancia para el desarrollo sostenible del país (Ley 7593), por su papel esencial como eje vertebrador de la vida ciudadana y el progreso socioeconómico de las ciudades. No obstante, no se están realizando las suficientes acciones para desarrollar este servicio de manera regulada y anticipada a los impactos sociales, ambientales y económicos posiblemente implicados. Esto se refleja en el VII Plan Nacional de Energía (VII PNE) donde se señala que el ALPU representó el 2,7 % del consumo de electricidad durante el 2014 y se establecieron como desafíos del subsector energía, por un lado, el asegurar la eficiencia del ALPU y, por otro, el establecer criterios de eficiencia para la adquisición de equipos (incluyendo luminarias) del sector público.

En Costa Rica, la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) es el ente encargado de la regulación de los servicios públicos, dirigiendo sus esfuerzos a la mejora de aspectos metodológicos, evaluación de la calidad y la protección del ambiente, en aras de fomentar la sostenibilidad de los recursos naturales (ARESEP s.f.). En la Ley N° 7593 se establece que entre sus funciones se encuentra fijar precios y tarifas; además, velar por el cumplimiento de las normas de calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima de los servicios públicos contemplados en dicha ley. El

cumplimiento de estos mandatos se ve reflejado en el VII PNE, donde se comprueba la inclusión efectiva de los costos para la mitigación ambiental como parte de las tarifas eléctricas.

No obstante, desde 1870 los gobiernos locales como entes organizadores tenían concedida la función de administrar el servicio. Incluso en 1998, con la creación del Código Municipal, el ALPU puede ser sujeto a la administración municipal; aunque históricamente el servicio ha carecido de una regulación ambiental que vele por una gestión sustentable, limitándose a ser adjudicado a empresas u organizaciones prestatarias de servicios públicos por medio de concesiones, las cuales podrían ser sujetas a la función de la ARESEP de coadyuvar con los entes del Estado competentes en la protección del ambiente, como se establece en la Ley 7593.

Como se ha planteado anteriormente, existe la necesidad de abordar la temática desde una perspectiva ambiental, donde la ingeniería sanitaria es una herramienta útil para la disminución y control de los riesgos derivados de la contaminación lumínica, por su atinencia al saneamiento de los ámbitos en los cuales se desarrolla la actividad humana (EDECA 2014). Por cuanto este trabajo busca plantear el eje ambiental para un uso sustentable de la luz en el servicio de ALPU que asegure calidad, protección del ambiente y la salud pública.

Planteamiento del problema

La presente investigación propone utilizar la ingeniería sanitaria como herramienta para solventar los vacíos ambientales del servicio de ALPU actual con el objetivo de generar una normativa, la cual permita la definición de un servicio de ALPU que busque la protección del consumidor, así como brindar una línea base para la investigación en este ámbito, escasamente considerada en Costa Rica.

Un servicio de ALPU diseñado y gestionado sin aplicación de los criterios técnicos necesarios para la protección del ambiente y la salud humana ha generado consecuencias perjudiciales en cuanto a salud humana, inseguridad vial, desequilibrio en diversos ecosistemas nocturnos, degradación del paisaje nocturno y desperdicio energético y económico. Por ello, en las últimas décadas se han realizado esfuerzos por evidenciar la

problemática de la contaminación lumínica a nivel global; entre los cuales se destaca el análisis de datos demográficos y geográficos en conjunto con imágenes satelitales nocturnas, mediante lo cual se han logrado generar mapas de la superficie del planeta que evidencian cuanta luz emitimos al espacio y, por tanto, las posibles alteraciones ambientales.



Figura 1. Mapa de Contaminación Lumínica. Fuente: Earth Observation Group (EOG), 2014.

En el caso de Costa Rica el panorama puede seguir la misma constante global, más aún cuando en el país no existe regulación ambiental específica en cuanto al servicio de ALPU, el cual es una de las mayores fuentes de contaminación lumínica en el mundo, y tampoco para las demás fuentes presentes en los asentamientos humanos rurales y urbanos; de manera que puede ser necesaria la aplicación de normas internacionales y guías metodológicas con el fin de garantizar un uso responsable de la luz y la energía, en función de proteger la salud pública.

Objetivos

Cuadro 1. Objetivos planteados.

GENERAL	ESPECÍFICOS
Conceptualizar una propuesta de normativa para un uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público que asegure la calidad, la protección del ambiente y la salud pública en Costa Rica.	<ol style="list-style-type: none"><li data-bbox="802 524 1473 667">1. Diagnosticar la gestión del servicio de alumbrado público a nivel organizativo, operativo y tecnológico en Costa Rica.<li data-bbox="802 689 1473 887">2. Definir las variables luminotécnicas y problemáticas ligadas a la contaminación lumínica generada por el servicio de alumbrado público.<li data-bbox="802 909 1473 1106">3. Identificar las tecnologías disponibles para Costa Rica y parámetros existentes para la gestión del alumbrado público que procure un ambiente sano.<li data-bbox="802 1128 1473 1328">4. Proponer el eje ambiental para un uso sustentable de la luz en el servicio de alumbrado público que asegure calidad, protección del ambiente y la salud pública

CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual de esta tesis desarrolla lógica y secuencialmente los fundamentos teórico-conceptuales bases y antecedentes claves que han sustentado la investigación, con el propósito de facilitar al lector su comprensión y posterior análisis.

2.1. Luz y sistemas de iluminación

Esta sección expone los conceptos relacionados a luz y sistemas de iluminación con base en la revisión teórica desarrollada principalmente por Pozo (2014), Calvillo (2010) y Sánchez (2010), quienes enfatizan las numerosas acepciones y por ello cuantiosas definiciones del concepto de luz, debido a su absoluta relación antropológica, pues a través de ella el ser humano se conecta visualmente con el mundo que lo rodea. Lo expuesto hace necesario definir el concepto para términos de la presente investigación desde el punto de vista físico, es decir, se define la luz como la forma de radiación electromagnética, llamada energía radiante, capaz de excitar la retina del ojo humano y producir, en consecuencia, una sensación visual.

2.1.1. Naturaleza física de la luz

La luz se puede interpretar físicamente de dos maneras asociadas entre sí. Posee una naturaleza corpuscular, formada por fotones que absorben y emiten energía, pero se comporta como una onda electromagnética en su propagación.

Las ondas electromagnéticas, lejos del foco emisor, pueden considerarse como ondas planas transversales formadas por un campo eléctrico y otro magnético, perpendiculares entre sí, cuya intensidad varía sinusoidalmente con el tiempo y el espacio y cuya dirección de propagación es perpendicular a ambos campos. Por esta razón, la luz puede considerarse como una entidad con comportamiento de onda y que consta de partículas llamadas fotones.

2.1.2. Espectro visible

Se denomina espectro “visible” a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama también luz “visible”. No hay límites exactos en el espectro visible; un ojo patrón humano responde a longitudes de onda desde 380 nm a 780 nm, y discrimina la

luz entre las distintas longitudes y frecuencias de onda presentes en este rango por la sensación de color.

Los azules y violetas corresponden a longitudes de onda cortas, el rojo y el naranja corresponden a longitud de ondas largas y en el medio encontramos el verde y el amarillo. Estas longitudes de onda dentro del espectro visible se convierten, a partir de una transformación electroquímica, en “señales” dirigidas al cerebro.

Las radiaciones inferiores a 480 nm (longitudes de onda cortas) emiten luz contaminada, lo cual es importante señalar pues llevan agregadas radiaciones violetas y ultravioletas perjudiciales para la salud y no son útiles para la visión (Generalitat de Catalunya 2010) puesto que el ojo humano tiene una curva de sensibilidad centrada en los 555nm (tonos verdosos amarillentos).



Figura 2. Rango de luz de calidad del espectro. Fuente: Generalitat de Catalunya, 2010.

2.1.3. Espectro luminoso

En términos de iluminación es necesario conocer el concepto de espectro luminoso, pues este puede condicionar la pertinencia o no de algunas características presentes en las fuentes de luz destinadas para la iluminación de espacios públicos. Específicamente este concepto se refiere a la distribución de la energía irradiada por una fuente luminosa, que viene ordenada por los valores de longitud de onda. Se distinguen dos tipos de espectros:

Espectros de emisión: emitidos por una fuente de luz. Cuando un elemento irradia energía no lo hace en todas las longitudes de onda, solamente en aquellas de las que está “provisto”. Esas longitudes de onda sirven para caracterizar, por tanto, a cada elemento.

Espectros de absorción: cuando un elemento recibe energía (transmisión de una luz blanca a través de un material) este no absorbe todas las longitudes de onda, sino únicamente aquellas de las que es capaz de “proveerse”, lo cual constituye una señal de identidad de estos.

Por ejemplo, el rango de longitudes de onda inferiores a los 380 nm genera daños al ojo humano debido a que este solo es sensible a las radiaciones pertenecientes a un pequeño intervalo del espectro electromagnético (entre 380 nm y 760 nm).

2.1.4. Campo visual del ser humano

La visión nos permite acceder a un mundo tridimensional de energías luminosas que se proyectan bidimensionalmente sobre la retina, donde los patrones de luz y oscuridad afectan la percepción del mundo y la respuesta emocional y psicológica; constituyendo elementos esenciales al obtener información de nuestro entorno (Alvarado 1997).

Percepción visual humana: se define como el proceso activo mediante el cual el cerebro transforma la información captada por el ojo en una recreación de la realidad externa o copia de ella (que es personal) hace referencia a la percepción como proceso cognitivo, a cómo cada individuo interpreta con base en su realidad (Outon 2004).

Durante el hecho perceptivo influyen múltiples factores, tanto externos como internos del individuo. Muchos son los estímulos sensoriales que están presentes durante el estado de vigilia y compiten para captar nuestra atención (Cevallos 2011).

Es importante destacar que el hecho de dirigir la atención hacia determinados estímulos no siempre está sujeto a una simple cuestión de control voluntario, pues una gran variedad de influencias internas del organismo y otras externas respecto a él, determinarán si la atención será sostenida o distraída, si los procesos perceptivos se destacarán nítidamente o serán borrosos (Corbella, citado por Cevallos, 2011).

Eficiencia visual: se define como el grado o nivel en que la visión es aprovechada por la persona para obtener información (Lojano & Pañi, citado por Pozo, 2014) y se desarrolla dependiendo de la capacidad visual innata de la persona.

El rendimiento visual se cuantifica a través de la velocidad y la precisión con la cual se realiza una tarea. Los aspectos que afectan a la eficiencia están relacionados con la tarea y su entorno inmediato (Pozo 2014).

Confort visual: es una medida del grado en que las condiciones de iluminación predisponen favorablemente a las personas para realizar la tarea. En otras palabras, es un estado generado por la armonía o equilibrio de una elevada cantidad de factores (Colombo y O'Donnell, 2010).

Los factores de la iluminación causantes de molestias visuales incluyen aquellos relevantes al rendimiento visual, pero se extienden más allá. Los factores que afectan al confort visual tienen relación con todo el medio iluminado, en cambio, los factores relevantes al rendimiento visual están generalmente restringidos a la tarea y su entorno cercano (Colombo *et al.*, 2010).

El confort visual es más sensible a los cambios en la iluminación que el rendimiento visual. Más aún, si una dada condición luminotécnica es considerada no confortable puede llegar a disminuir el rendimiento visual, aun cuando las condiciones no afecten directamente al estímulo (Colombo *et al.* 2010).

Agudeza visual: la medida de la agudeza visual espacial es una de las medidas psicofísicas más importantes y común de la función visual del ojo. Esta se define como el detalle espacial más pequeño que puede ser detectado, discriminado o identificado (Pérez 2007).

2.1.5. Aspectos no visuales de la luz

Cuando la vida se originó en nuestro planeta, se desarrolló en un entorno rítmico predecible debido a los movimientos de rotación y traslación de la tierra, los cuales dotan al medio que nos rodea de una ritmicidad en las condiciones de luz y temperatura (Márquez de Prado 2004). Así, toda la escala filogenética evolucionó para garantizar la

coordinación temporal con su entorno cíclico, una tarea realizada gracias a la presencia de un sistema circadiano (Rol de Lama 2006).

Estos ritmos circadianos son aquellas variables y funciones de nuestro organismo que oscilan con un periodo cercano (circa) a las 24 horas (diem) ajustándose a las condiciones ambientales externas caracterizadas principalmente por el fotoperiodo (Benstaali *et al.* 2001) y creando una dependencia temporal, la cual implica una compleja regulación fisiológica (Rol de Lama 2006).

Esta organización temporal de las funciones del organismo permite activar mecanismos efectores antes del cambio ambiental, en el caso de cambios fluctuantes. Esta anticipación permite responder con la máxima eficacia a dichos cambios suponiendo un menor gasto de energía, proceso conocido como homeostasis predictiva (Kandel 1997). Sin embargo, las sociedades modernas han alterado estos ritmos por el mal uso y abuso de la luz artificial durante la noche.

2.1.6. Magnitudes Fundamentales de la luz

Para el desarrollo de los análisis fotométricos es necesario conocer los siguientes fundamentos métricos de la iluminación descritos por Pozo (2014).

Intensidad luminosa (I): se define como el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta, su unidad es la candela [cd].

Iluminancia (E): su unidad de medición es en luxes (lúmen/m²) y es definida como la cantidad de luz o densidad de flujo luminoso que incide en una unidad de área.

Luminancia (L): la luminancia es la relación perceptible por el ser humano, entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada, su unidad de medida es la candela metro [cd/m²].

Rendimiento luminoso: es una característica propia de la lámpara evaluada, su unidad está definida en lumen por watt [lm/W], compuesta por el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida.

2.1.7. Iluminación

La iluminación es la acción o efecto de iluminar. En la técnica se refiere al conjunto de dispositivos instalados para producir ciertos efectos luminosos, tanto prácticos como decorativos. Con la iluminación se pretende, conseguir un nivel de iluminación - interior o exterior - (iluminancia) adecuado al uso dado al espacio iluminado, el cual dependerá de las tareas que cada consumidor haya de realizar y sus necesidades (Calvillo 2010).

La iluminación tiene la potencialidad de modificar no solamente el estado de operación del sistema visual, sino también de afectar la manera en la cual el ser humano realiza una tarea o se desenvuelve en un medio luminoso. En este sentido, la iluminación puede actuar como un factor positivo, favoreciendo el desempeño de las actividades o puede influir negativamente sobre la respuesta de estas (Colombo *et al.*2002)

Calidad de iluminación

Debido al desarrollo de la innovación tecnológica y la investigación científica, la iluminación pública ha podido evolucionar, apareciendo la modulación y el aspecto sensible de la iluminación. Sin embargo, la mayoría de las consideraciones de la espacialidad y de la estética aparece únicamente en demostraciones de creación artística (Calvillo 2010).

La calidad de un sistema de iluminación no solo se traduce en términos de rendimiento y confort, sino también como un medio que envía mensajes, redundando en productividad, mejora del ambiente, salud colectiva, seguridad de quienes ocupan estos espacios y en beneficios económicos (Colombo *et al.*2002).

2.1.8. Eficiencia energética

El concepto de eficiencia energética está relacionado con la capacidad de mantener la prestación de un servicio energético a la vez que se reduce el consumo de energía y se optimizan sus costos sin que se vea afectada su calidad y cantidad (Ponce 2014).

Para el caso del ALPU, el Comité Español de Iluminación define la eficiencia energética como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media entre la potencia activa total instalada, lo cual limita el resplandor luminoso nocturno y reduce la luz intrusa o molesta.

2.2. Crecimiento poblacional y sustentabilidad urbana

El ambiente urbano comprende una dinámica de ocupación del territorio de tipo antrópico, donde las características de ocupación en términos de concentración, densidad y calidad generan una progresiva diferenciación funcional y social. En este ambiente se mantienen diferentes dinámicas de interacción entre componentes naturales, urbanísticos y sociales influenciadas por el modelo de desarrollo económico y por el rápido crecimiento de la población urbana; provocando un ambiente urbano con cada vez más dificultades para sostener los ecosistemas y distintas formas de vida contenidas en él (Morenos 2009).

Tal es el caso de Costa Rica, donde en los últimos 30 años se ha presentado periodos de crecimiento rápido y, en algunos momentos, muy caóticos (en particular, la crisis de vivienda de finales de la década de 1980) (Pujol y Pérez 2012), siendo esto razón para replantear y reorganizar su planificación urbana en función de la sustentabilidad ambiental, enfoque que incorpora el desarrollo humano, la calidad de vida, la democracia y la equidad, además de la preservación de los recursos naturales para la supervivencia de las generaciones futuras (Gómez 2008).

2.3. Servicio Público

En Costa Rica se entiende por servicio público aquel servicio que a criterio de la Asamblea Legislativa aporta significativamente al desarrollo sostenible del país y es sujeto de regulación por medio de leyes o reglamentos (Ley 7593).

Alumbrado Público: es el servicio encargado de la iluminación de espacios públicos y de libre circulación como vías y parques, que no se encuentran a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, para brindar la visibilidad adecuada y el normal desarrollo de las actividades. Producto de este servicio de alumbrado, se proporcionan beneficios económicos y sociales como la reducción de accidentes nocturnos, seguridad ciudadana, óptimas condiciones para el tráfico, permite el transporte y

desplazamiento durante la noche, así como desarrollo de actividades nocturnas (Herrera 2009).

2.4. Contaminación lumínica

La contaminación lumínica es un fenómeno relativamente reciente y de las formas de contaminación menos conocidas, asociada al uso inadecuado de la iluminación exterior. Se puede definir como la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o en rangos espectrales donde dicho flujo no es necesario para la realización de las actividades previstas en la zona en la cual se ha instalado puntos luminosos, por esto es considerada sinónimo de baja eficiencia y desperdicio energético (Capó 2007).

Esta forma de contaminación presenta efectos que pueden ser equiparables a la emisión de gases a la atmósfera o al vertido de contaminantes en los ríos (Horts 1999) por sus impactos sobre la ciencia, la biodiversidad, la economía y la salud humana.

El origen de esta problemática se sitúa en el siglo XX, donde el consumo de luz artificial se convirtió en un factor de progreso tecnológico y social, pero que conllevó a la proliferación de grandes infraestructuras necesitadas de enormes cantidades de luz y el crecimiento desmedido del alumbrado en zonas urbanas y rurales (Font 2002).

Sin embargo, el agravamiento de este panorama se le puede atribuir mayoritariamente a la falta de planificación en la gestión de la iluminación, pues este avance tecnológico -especialmente en materia de iluminación- permite, como demuestra García (2011), encontrar una gran gama de opciones para el diseño de la iluminación, que contempla no solo diversas variables en términos de diseños, costes y factores energéticos, sino también están disponibles equipos auxiliares con el fin de adecuar las luminarias según su finalidad y las reales necesidades de iluminación.

2.4.1. Manifestaciones de la contaminación lumínica

Dispersión hacia el cielo

La dispersión hacia el cielo consistente en la emisión de rayos luminosos que se difunden hacia el firmamento se origina porque la luz interactúa con las moléculas del aire y

partículas en suspensión (partículas sólidas o aerosoles, humo, polvo, etc.) y en consecuencia se desvía en todas direcciones. El proceso se hace más intenso si hay partículas contaminantes en la atmósfera, como suele ser frecuente en la atmósfera de las ciudades. Como resultado de ello, se pueden observar los típicos halos luminosos que cubren a las grandes ciudades y las hace visibles a grandes distancias (Ponce 2014; Sánchez et al. 2015).

Luz intrusa

No estando en la superficie iluminada, la luz intrusa supone una agresión a una zona que debería estar en condiciones de oscuridad. Esta puede ser introducida en un hábitat humano o un ecosistema nocturno (CIE 2018) y es causada por un mal diseño de iluminación. Se puede categorizar en directa e indirecta:

Intromisión lumínica directa: es producida cuando una instalación de iluminación emite luz en direcciones que exceden el área donde es necesaria, invadiendo directamente zonas vecinas sin necesidad de ser iluminadas (por ejemplo: dormitorios).

Intromisión lumínica indirecta: esta se produce cuando una parte del flujo luminoso se desvía de su dirección original y acaba siendo dispersado en todas las direcciones generando el brillo en el cielo, el cual constituye un emisor de luz residual con posibilidad de constituirse como una fuente de luz que crea intrusión indirecta en ecosistemas sensibles ubicados incluso a kilómetros de los centros luminosos (Kyba, Ruhtz et al., 2011, Kyba and Hölker 2013, citado por CIE 2018).

Esta manifestación es aún más evidente durante las noches nubladas y se ve maximizada por fuentes lumínicas poseedoras de picos de emisión en el rango azul, porque su eficacia de dispersión en la atmósfera es mucho mayor al resto. Un ejemplo de estas fuentes son los LED comercializados actualmente (Herranz *et al.* 2011), los cuales logran una mayor eficacia luminosa que los LEDs en emisión azul, por tanto si el led genera luz de color blanco frío es más eficiente que un LED generador luz de color blanco cálido (aunque siempre poseen un pico de emisión en este rango). Esto es de suma importancia subrayarlo, porque se han iluminado calles con temperaturas de color extremadamente frías, en aras de una mayor eficacia luminosa ignorando los efectos provocados por esta luz tan fría sobre la salud humana y los ecosistemas (CIE 2010).

Deslumbramiento

Se origina cuando la visibilidad se dificulta o imposibilita debido al efecto de la luz emitida por instalaciones de iluminación artificial. Tiene una relación más directa con el tema de la seguridad vial y puede producirse tanto por un exceso de luz, como por una mala orientación de las luminarias (Moreno y Martín 2016).

Sobreconsumo

Se produce cuando la emisión artificial de luz implica un consumo energético excesivo debido a la excesiva intensidad de la iluminación, al horario de funcionamiento del alumbrado, a la emisión de luz en direcciones en que no es necesario iluminar o a la distribución espectral de la lámpara, que no siempre restringe su emisión al rango de la luz visible (Ponce 2014).

2.4.2. Marco normativo e institucional en Costa Rica

Escénico, cultural y científico

Mundialmente la preocupación acerca de la pérdida de los cielos oscuros ha empezado a tomar relevancia. Como prueba de esto, la UNESCO desde el año 1997, mediante la Declaración Universal de los Derechos de las Generaciones Futuras, hace referencia al derecho de una Tierra indemne y no contaminada, incluyendo el derecho a un cielo puro, como patrimonio de la humanidad.

Este hecho posee antecedentes de carácter legal, que materializan la preocupación sobre este tema, como lo es la Ley del Cielo de La Palma de 1988 y su reglamento de 1992, en la cual se hace referencia a la necesidad de generar políticas públicas dirigidas a la protección del paisaje y la calidad del cielo nocturno, con el fin de garantizar el derecho colectivo a la contemplación del firmamento, resguardar su valor científico-cultural y ahorrar energía (Declaración de la Palma 2007).

Salud Pública y ecosistemas

En todos los niveles jurídicos de Costa Rica se evidencia que el tema de la contaminación lumínica puede ser contemplado dentro de sus disposiciones. A nivel constitucional, el artículo 50 aporta un sustento para la prevención de la contaminación lumínica al indicar: “toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado” y “el Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho”, aunado al artículo 89 que señala “Entre los fines culturales de la República están: proteger las bellezas naturales, conservar y desarrollar el patrimonio histórico y artístico de la Nación...” (Constitución Política de Costa Rica 1949), elementos con probabilidad de ser afectados por el uso inadecuado de la luz artificial.

Asimismo, el país cuenta con convenios internacionales que pueden posicionar de antemano la contaminación lumínica en un plano regulatorio, como lo son las Declaraciones de Estocolmo de 1972, Río 1992 y la Convención Interamericana de Protección y Conservación de las Tortugas Marinas de 1996, la cual hace mención específica al uso de la luz artificial.

De este mismo modo, en la Ley Orgánica del Ambiente de Costa Rica se contemplan aspectos puntuales sobre protección del paisaje, fundamental para la calidad de vida como se indica en el Voto Constitucional 1394-94: “Desde el punto de vista psíquico e intelectual, el estado de ánimo depende también de la naturaleza, por lo que también al convertirse el paisaje en un espacio útil de descanso y tiempo libre es obligación su preservación y conservación. Aspecto este último que está protegido en su artículo 89 constitucional.

Administrativo

En la legislación costarricense no se contempla ningún tipo de regulación específica para la gestión del servicio de ALPU, pues no existen estándares regulatorios externos de aplicación obligatoria a nivel nacional, sino que se limita a la aplicación de normas y criterios propios de la administración pública como lo es la rendición de cuentas y la evaluación de resultados (Herrera 2009).

Sin embargo, Costa Rica cuenta con compromisos legales que permiten el abordaje de problemáticas puntuales ligadas al uso de la luz artificial, como es el caso de la Ley N° 7906, en la cual mediante sus artículos 5 y 6 faculta a las municipalidades, en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) la limitación del uso de la luz artificial, con el fin de proteger y conservar hábitats de las tortugas marinas. Este es un claro esfuerzo en función de tener mayor impacto en la protección del ambiente y la salud humana y, debe ser considerado desde perspectivas más amplias y coordinadas, como lo es la planificación territorial (Fernández 2008).

Según Código Municipal, el servicio de ALPU puede ser sujeto a la gestión municipal como lo indica en su artículo 74, su disposición faculta a los municipios para cobrar tasas que permitan el desarrollo del servicio. Para dicha disposición queda vinculada la función de la ARESEP, institución encargada de fijar precios y tarifas para la prestación de servicios públicos; dentro de los cuales se encuentra el suministro de la energía eléctrica en su etapa de distribución y comercialización bajo normas de calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima, como lo establece la Ley 7593.

Asimismo, uno de los objetivos específicos planteados en el VII PNE relacionado al servicio de ALPU, consiste en que el MINAE y distribuidoras eléctricas aseguren su eficiencia, mediante las siguientes acciones:

- a. Elaborar planes de ALPU eficiente por empresa distribuidora.
- b. Elaborar una norma de ALPU.
- c. Ejecutar los planes de ALPU eficiente.

2.4.3. Normativas internacionales

A nivel mundial existen iniciativas para el control de la contaminación lumínica que han derivado en la creación de normativas estandarizadas, las cuales funcionan como herramienta para lograr este objetivo.

Tal es el caso de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), principal autoridad internacional en materias relacionadas con la ciencia, la tecnología y el arte en los campos de la luz y la iluminación, dedicada a la cooperación internacional y al intercambio de

información entre sus países miembros. Dentro de sus normativas publicadas se encuentran la CIE 150: 2003 *Guía para la limitación de los efectos molestos de la luz procedentes de las instalaciones de iluminación en exteriores* y la CIE 126: 1997 *Directrices para la minimización del brillo del cielo* (CIE 2015); estas publicaciones han sentado las bases teóricas para la materialización de esfuerzos dirigidos a la protección de la salud pública, ecosistemas nocturnos y cielos oscuros.

2. MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo tiene como propósito mostrar la estrategia metodológica desarrollada durante la investigación, además de ubicar al lector en cuanto a las técnicas e instrumentos que se implementan.

3.1. Tipo de investigación

La investigación es descriptiva porque brinda una percepción precisa del funcionamiento de la gestión del servicio de ALPU y de las maneras cómo se comportan las variables, factores o elementos que lo componen (Hernández 2003).

También corresponde a una investigación explicativa porque establece relaciones de causa-efecto de los problemas detectados, a partir de los cuales se construye una propuesta para dar solución integral a estos.

3.2. Enfoque de investigación

El método de obtención y análisis de la información se abordó desde un enfoque cualitativo, caracterizado por la implementación de técnicas como revisión de fuentes secundarias y entrevistas abiertas dirigidas a entidades clave desde una visión holístico para el análisis global de los aspectos que integran el fenómeno de estudio (Hernández *et al.* 2003), en este caso el uso de la luz en el servicio de ALPU.

El alcance de la investigación es conceptualizar una propuesta de normativa para el uso sustentable de la luz viable para su aplicación en Costa Rica. La propuesta busca establecer

una línea base de requisitos técnicos que eviten la contaminación lumínica, así como los posibles mecanismos de control y fiscalización.

3.3. Diseño de la investigación

Se propone un diseño de tipo descriptivo y de campo, con el fin de dirigir la estrategia general que se adoptará para abordar el problema determinado e identificar los pasos a seguir para desarrollar el estudio (Altuve y Rivas 1998).

Por un lado, el componente investigativo de campo es primordial para el análisis sistemático del problema, específicamente en su descripción, interpretación, búsqueda de factores constituyentes y su posterior explicación de causas y efectos; esto por medio de la recolección de datos de forma directa, sin su manipulación o control de variables.

Por otro lado, el componente descriptivo se abarca en la construcción del diagnóstico que tiene por objeto desarrollar una descripción precisa de la gestión del ALPU en Costa Rica en los niveles de estudio definidos.

3.4. Objeto de estudio

Al considerarse el ALPU una de las principales fuentes de contaminación lumínica a nivel global, esta investigación definió por objeto de estudio la gestión del uso de la luz en la prestación del servicio de ALPU en Costa Rica, por tanto es necesario conocer la base técnica e institucional encargada de prestar este servicio público, de manera que permita conceptualizar una propuesta de normativa para un uso sustentable de la luz en la prestación del servicio con el fin de asegurar la calidad, la protección del ambiente y la salud pública.

3.5. Unidades de análisis

A continuación se muestran las unidades de análisis que fueron sujetas a investigación:

Cuadro 2. Conformación de las unidades de análisis.

ENTES RECTORES	GOBIERNOS MUNICIPALES	PRESTATARIOS DEL SERVICIO ALPU
MINSA	San Carlos	CNFL
MINAE	Belén	ICE
IFAM	Santa Ana	ESPH S.A.
MOPT	Moravia	COOPESANTOS R.L.
SINAC	Escazú	COOPELESCA R.L.
DIGECA	Cartago	JASEC
Laboratorio de	San José	COOPEALFARORUIZ R.L.
Eficiencia Energética -	Curridabat	COOPEGUANACASTE R.L.
ICE	Heredia	
	San Rafael	

ENTE REGULADOR DE SERVICIOS PÚBLICOS
ARESEP

3.6. Tipo de muestreo y determinación de la muestra

Para efectos del desarrollo del diagnóstico, los gobiernos locales conformaron la única unidad de análisis que se diagnosticó por medio de un muestreo no probabilístico de tipo discrecional, pues a diferencia de los entes rectores, el ente regulador de servicios públicos y los prestatarios del servicio de ALPU, este es un grupo muy numeroso, regido bajo una normativa en común, lo cual permite su estudio a partir de una muestra no probabilística.

La muestra se conformó por los 10 municipios mejor calificados según el Índice de Gestión Municipal (IGM) para el periodo 2014, siendo los que más pueden contribuir al estudio; pues el IGM busca evaluar aquellas municipalidades con mayor evidencia de capacidad para atender los aspectos técnicos y normativos relativos a su gestión, así como

de incidir positivamente en la satisfacción de las necesidades de sus respectivas comunidades (CGR 2015). Esta evaluación consta del análisis de 61 indicadores organizados en cinco ejes, a saber: Desarrollo y Gestión Institucional; Planificación, participación ciudadana y rendición de cuentas; Gestión de Desarrollo Ambiental; Gestión de Servicios Económicos y Gestión de Servicios Sociales.

3.8. Etapas de la investigación

Para alcanzar los objetivos de la investigación se describe a continuación las etapas del proceso metodológico a emplear:

Etapa 1. Investigación bibliográfica

Se propuso la investigación bibliográfica sobre el objeto de estudio en sus diferentes ámbitos de aplicación y experiencias previas, con el propósito de facultar la construcción del marco teórico y funcione como insumo para la elaboración del diagnóstico. Después de compilar la información, se planteó determinar las normas internacionales y reglamentos que permiten la orientación teórica para la definición de variables luminotécnicas necesarias en la construcción de la propuesta.

Etapa 2. Diseño de herramientas y registro de datos

En esta etapa se procedió a elaborar las herramientas necesarias para la recopilación de la información primaria, de forma sistemática y estructurada, que facilite su aplicación y posterior registro de datos.

Como parte de la sistematización de datos, se elaboró una ficha de recolección de datos, en donde se especifiquen las técnicas utilizadas, aplicadas a los diferentes niveles de gestión a diagnosticar, lo cual permitirá tener la información debidamente clasificada, facilitando de esta manera el posterior trabajo de redacción.

Las técnicas propuestas se detallan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Técnicas a implementar.

INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Consiste en obtener información y evidencias directamente en el terreno de los hechos donde se produce el problema que investigamos. La información se sistematizará por medio de una lista de ficha de recolección de datos (ver anexo 13).

ENTREVISTAS ESTRUCTURADAS

OBSERVACIÓN Y REGISTRO ESTRUCTURADO DE CAMPO

La entrevista consiste en una conversación entre dos o más personas sobre un tema determinado de acuerdo con ciertos esquemas o pautas determinadas.

La observación de campo es el recurso principal de la observación descriptiva. Se realiza en los lugares donde ocurren los fenómenos investigados.

Con esta técnica se busca un intercambio de información directa, cara a cara, entre analistas y organización y es de particular interés pues ofrece al analista una excelente oportunidad para establecer una corriente de simpatía con el personal usuario, lo cual es fundamental en el transcurso del estudio.

Se realizará con la ayuda de una lista de chequeo.

La idea del uso de este tipo de instrumento es registrar la existencia o no de parámetros y criterios de evaluación adoptados como claves en el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

La técnica se desarrollará de forma tal que se aplique un mismo instrumento a cada una de las personas entrevistadas, esto es, con una misma formulación y orden.

Se implementará durante el trabajo de campo a realizar para la validación de los criterios seleccionados.

El instrumento será aplicado a las entidades u organizaciones determinadas como entes rectores o vinculantes al tema de investigación, gobiernos municipales que conforman la muestra y la totalidad de empresas prestatarias que brindas el servicio de alumbrado público en el país (ver instrumentos en anexos del 1 al 9).

Etapa 3. Análisis y validación de resultados

A partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación de entrevistas, listas de chequeo y la revisión bibliográfica, se efectuó un análisis exhaustivo situando al objeto de estudio frente a su contexto, de manera que permitió identificar puntos claves para la adecuada fundamentación y construcción de la propuesta realizada.

La validación de la propuesta, se efectuó mediante el método cualitativo consulta de expertos, el cual según Escobar y Cuervo (2008) es “una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones”, para lo cual conformó un panel de expertos (representantes de las unidades de análisis, técnicos especialistas en fotometría, iluminación y alumbrado público), con quienes se discutió la propuesta y emitieron sus criterios, observaciones y recomendaciones respecto a la pertinencia de cada uno de los elementos que conforman la propuesta a través de un instrumento específico (Anexo 12).

Los aportes realizados por el panel fueron recopilados y analizados para su incorporación como parte de los resultados obtenidos y su posterior discusión, de modo que se justificara la incorporación o no de las argumentaciones por expertos en la propuesta final.

Etapa 4. Propuesta de normativa

Para el diseño de la propuesta de normativa, se tomó como principales insumos los estudios realizados en las etapas anteriores, igualmente normativas internacionales y reglamentos aplicados sobre la temática en otros países. Además, el proceso de validación fue vital para que la propuesta sea congruente y contemple los aspectos de forma requeridos por los entes pertinentes.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

El capítulo de resultados se presenta de acuerdo con los objetivos planteados, siendo abordados desde las principales aristas que conforman el objeto de estudio

4.1. Problemáticas ligadas a la Contaminación Lumínica

El uso de iluminación artificial durante la noche ha generado alteraciones en el ámbito nocturno, tomando en cuenta que el planeta se formó hace 4500 millones de años y fue hasta en el periodo Cámbrico (570 hasta 505 mil millones de años) cuando se da paso a las primeras formas de vida complejas, incluyendo muchos de los principales grupos de animales presentes en la actualidad (Delfino 2013).

Desde entonces, estos grupos de seres vivos han evolucionado y adaptado a las condiciones del planeta, entre ellas a la estabilización de la alternancia de las horas luz y oscuridad, producto de la relación entre el Sol y el movimiento de rotación del planeta, y bajo esa alternancia la vida en el planeta ha desarrollado mecanismos de adaptación llamados sistemas circadianos, los cuales permiten a los organismos medir el tiempo internamente y adaptarse a los cambios ambientales que ocurren durante el día, adecuando también sus procesos fisiológicos y ecológicos (Guido 2013).

Esta alternancia entre los periodos de luz y oscuridad durante el día habían permanecido sin alteraciones externas hasta el último siglo, cuando mediante el desarrollo de las civilizaciones se hace un uso intensivo de la luz artificial durante la noche y, conforme avanzan las tecnologías, su uso ha ido en aumento, a tal punto que se han elevado drásticamente los niveles de iluminación durante la noche (García *et al.* 2012).

El origen del estudio de la contaminación lumínica tiene lugar a partir de la década de los años de 1970, mediante las investigaciones de M.F. Walker y la Real Sociedad Astronómica de Canadá, cuando se iniciaron los planteamientos en cuanto a la necesidad de identificar y proteger aquellos sitios de importancia astronómica afectados por la iluminación de ciudades aledañas. A continuación, las investigaciones fueron evolucionando hacia las fórmulas para la cuantificación de la contaminación lumínica generada por las ciudades, así sucesivamente hasta conformar un ámbito de estudio multidisciplinario, en donde la ecología y la medicina vendrían a aportar posteriormente (García 2015). Estos primeros aportes lograron determinar que este tipo de polución no

solo afecta los estudios astronómicos, también tiene una gran incidencia en la biodiversidad, en la calidad de vida e incluso repercute directamente sobre la salud humana (Parra *et al.*2014). A partir de los estudios multidisciplinarios se han determinado nueve valoraciones de la oscuridad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efectos de la contaminación lumínica como valores de la oscuridad.

Eje afectado	Valor asociado con la oscuridad
Energía	Eficiencia
	Sostenibilidad
Ecología	Riqueza Ecológica
Salud pública	Salud
	Felicidad
Cielo nocturno	Conexión con la naturaleza
	Astronomía
	Patrimonio y tradición
	Belleza escénica

Fuente: Stone 2017.

De acuerdo con García (2012), se pueden diferenciar 3 diferentes efectos de la CL, según la afectación generada, el usuario implicado y el entorno afectado, primero, incremento de los niveles lumínicos en ecosistemas naturales nocturnos; segundo, incremento de niveles

lumínicos en hábitats humanos; y tercero, resplandor luminoso de la cúpula celeste. A continuación se desarrollan cada uno de estos tres grandes grupos:

4.1.1. Efectos por incremento de los niveles lumínicos en ecosistemas naturales nocturnos

En el año 2003, en una conferencia sobre contaminación lumínica, celebrada en Muskoka, Ontario, se desarrolló el concepto de escotobiología. Este concepto hace referencia a la rama de la biología encargada de estudiar los efectos nocivos de la contaminación lumínica sobre los sistemas biológicos, tomando en cuenta la variación de los periodos de alternancia ambiental entre la luz y la oscuridad y sus efectos en la bioquímica, fisiología y hasta en el comportamiento social de los organismos en el ecosistema, es decir, es el estudio de la oscuridad como soporte de vida. Posicionando así a la contaminación lumínica, como componente principal de la contaminación global, pues puede acarrear graves consecuencias mortales producto de la dificultad de los organismos para adaptarse a la alteración del medio nocturno (Bidwell y Goering 2004).

La contaminación lumínica tiene una relación directa con la conservación de los recursos naturales, tomando en cuenta la existencia de más 161,000 ha de áreas protegidas que cubren alrededor de un 12% de la superficie terrestre, las cuales desempeñan un papel importante en la preservación de la biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas (Loucks et al. 2008). Sin embargo, la contaminación lumínica resultante del cambio en el uso de la tierra y la mala gestión y falta de monitoreo de las actividades humanas ha causado degradación de la función de estas áreas, aun cuando las fuentes contaminantes de luz artificial muchas veces se encuentran alejadas (Gallaway et al. 2010; citado por Jiang *et al.* 2017).

De manera relevante, no solo en las áreas protegidas se encuentran hábitats indispensables para el equilibrio ecológico. Muchísimos ambientes fuera de estas pueden desempeñar un rol determinante para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos encargados de conservar constantes y viables muchas de las actividades humanas que dependen directamente de la naturaleza (Estada 2013).

De acuerdo con lo anterior, y como se muestra en el siguiente cuadro 5, para muchas especies de organismos como crustáceos, insectos, aves, peces, ratones, una pequeña cantidad de luz en sus hábitats nocturnos puede resultar en una alteración de su rol ecosistémico, cambiando incluso la estabilidad de sus redes tróficas y relaciones simbióticas

Cuadro 5. Efectos biológicos a ciertos niveles lumínicos en animales nocturnos.

Especie	Efecto	Umbral
Cárbano norteamericano (<i>Strix varia</i>)	Localización de presa.	1.6x10 ⁶ lux
Búho chico (<i>Asio otus</i>)	– Estas especies están sumamente adaptadas a la caza en la oscuridad casi total, pero pierden esa ventaja sobre los roedores siempre que haya luz artificial disponible.	2.7x10 ⁶ lux
Tecolote llanero (<i>Spetyto cunicaria</i>)		5.7x10 ⁶ lux
	– Muchas especies de búhos han cambiado sus hábitats de caza adecuadas a ciudades.	
Lechuza de campanario (<i>Tyto alba</i>)	Localización de presa	2.8x10 ⁶ lux
Sapo común (<i>Bufo bufo</i>)	Incremento detección presa	2.8x10 ⁶ lux
Hámster dorado (<i>Mesocricetus auratus</i>)	Alteración ritmo cardiaco	0.01 lux
Salmón común (<i>Salmo Salar</i>)	Incremento detección de presa y efecto barrera	0.01-5 lux
Tortuga boba (<i>Caretta caretta</i>)	Desorientación de crías al buscar el mar	<0,01 lx
Mosca de la fruta (<i>Drosophila melanogaster</i>)	Variación actividad	0.03 lux
Rata parda (<i>Rattus norvegicus</i>)	Incremento tumoral	0.2 lux

Chorlito patinegro (<i>Charadrius alexandrinus</i>)	Superior captura	0.74 lux
Ratón ciervo (<i>Peromyscus maniculatus</i>)	Reducción actividad nocturna	0.93 lx
Cascabel de Pradera (<i>Crotalus viridis</i>)	Reducción actividad	1 lux
Mirlo primavera (<i>Turdus migratorius</i>)	Inicio de canto avanzado	0.05 – 3.06 lux
Lémur ratón gris (<i>Microcebus murinus</i>)	Alteración nivel melatonina y ciclo reproductor	0,5 lx – 30 lx
Murciélago lagunero (<i>Myotis dasycneme</i>)	Reducción de la tasa de alimentación y alteración en sus patrones de vuelo	< 30 lux (constante)

Fuente: Gaston, Bennie *et al.* 2013.

A continuación, se mencionan algunas formas de cómo la presencia de luz artificial agrede la ecología nocturna:

Efectos sobre las plantas: las plantas utilizan la luz tanto como fuente de energía mediante la fotosíntesis, como un recurso de información que permite su desarrollo ecológico, esto porque la luz tiene incidencia en la regulación de los ritmos circadianos, la fenología estacional, la expresión de la variación fenotípica, así como en su crecimiento y la asignación de recursos; esta serie de ciclos han desempeñado un rol determinante como presión selectiva de las especies (Bennie *et al.* 2016). Igualmente, las plantas han evolucionado interpretando los lapsos de oscuridad de las estaciones climáticas presentes en sus hábitats; por lo tanto, la alteración de los lapsos diarios de oscuridad generada por la CL provoca afectaciones en su capacidad para reaccionar y encajar adecuadamente al momento de los procesos de floración, latencia y senescencia (RASC 2013).

Recientemente se ha reconocido el importante rol que juega para la biodiversidad de plantas y polinizadores aquellos hábitats frecuentemente iluminados durante la noche, como lo son bordes de carreteras, cercas vivas, jardines caseros y ecosistemas urbanos, lo

cuales además sustentan el mantenimiento de servicios ecosistémicos para la salud y el bienestar humano en estas áreas y que, sin embargo, estos hábitats son iluminadas artificialmente durante las noches mediante el alumbrado de carreteras o por la luz de los vehículos de forma intermitente, aspectos raramente considerados en el estudio de impactos ambientales por infraestructura vial (Bennie *et al.*2016).

Muchos otros hábitats naturales o seminaturales pueden verse afectados por la iluminación artificial de asentamientos urbanos, carreteras o áreas industriales, incluso cuando se encuentran alejadas; esto debido a la dispersión y reflexión de dicha iluminación en la atmósfera, especialmente en condiciones atmosféricas nubladas, por ejemplo, diversas especies de árboles. De acuerdo con Chepesiukse (2010), se ha determinado que una prolongada exposición a la luz artificial les impide ajustarse a las variaciones estacionales, pudiendo afectar directa o indirectamente otras especies de flora y fauna dependientes de los árboles.

Esto podría implicar una afectación significativa si se toma en cuenta que (excluyendo la Antártica) cerca del 18,7% de la superficie terrestre podría estar expuesta a la contaminación lumínica, habiendo casos extremos como en Reino Unido, donde se estima que este porcentaje puede alcanzar el 84.7% o incluso el 100%, como en Holanda. Sin embargo, son escasas las investigaciones que permiten comprender los impactos de la luz artificial nocturna en las plantas de los hábitats silvestres, esto dificulta el entendimiento de los impactos generados por la luz a bajas intensidades en términos de ecología, fisiología, proceso de competencia por recursos, polinización, reproducción y dispersión (Bennie *et al.*2016).

Efectos sobre los insectos: los insectos son un grupo sumamente sensible a la luz, pues más del noventa por ciento de los insectos presentan comportamientos nocturnos y la exposición a la luz logra alterar sus hábitos de reproducción, migración y alimentación (Davies *et al.*2012). Asimismo, se ha determinado su sensibilidad a la exposición de fuentes de luz con un importante componente de su espectro en las longitudes de onda corta, como las fuentes de luz blanca y azules, que incluso puede causar su muerte (CIE 2018). Además, otras investigaciones como la de Bates (2014) han correlacionado la urbanización con la desaparición de la diversidad de insectos en hábitats dentro y cerca de ellas.

Efectos sobre los anfibios: son especialmente vulnerables a los efectos de la CL, pues cuentan con una piel altamente permeable y sensible a la luz y el calor. Se ha estudiado si la CL podría ser una causa de la rápida regresión de estas especies, junto con otros factores de tipo microbiológicos (Kolbert 2015). Ya desde el año 1993 se detectó una variación de comportamientos de forrajeo de las ranas con niveles lumínicos muy bajos (Buchanan 1993).

Efectos sobre las aves: de acuerdo con Fatal Light Awareness Program (FLAP), un gran número de aves realiza sus migraciones durante la noche, especialmente aquellas especies insectívoras, las cuales han desarrollado un sistema de navegación apoyado en patrones de luz antiguos y constantes (como la luna, las estrellas y del sol poniente), de esta forma pueden mantener y seguir sus rutas de migración. Sin embargo, estas migraciones han sido afectadas directamente por el crecimiento de las ciudades y el uso generalizado de la luz artificial externa durante la noche, pues en muchas ocasiones, dichas rutas migratorias atraviesan grandes urbes, las cuales representan una seria amenaza para la supervivencia de muchas especies migratorias, porque la luz artificial interrumpe la capacidad de las aves para mantener su comportamiento instintivo, generando una atracción hacia edificios iluminados y desviándose de su ruta natural. Además, las grandes ciudades mal iluminadas pueden generar un brillo en el cielo, que intensifica las afectaciones a las aves migratorias nocturnas.

El peligro de la luz artificial para las aves migratorias se intensifica en las noches nubladas o lluviosas, cuando el clima oscurece aún más el cielo nocturno o cuando la capa de nubes es baja y las aves migran naturalmente a altitudes más bajas. Desorientadas, las aves se desvían de su curso hacia un laberinto desconocido de edificios iluminados. Al tratar de seguir sus instintos, a menudo colisionan con las ventanas o las paredes de los edificios, incluso con otras aves desorientadas. Los reflectores, los faros, la iluminación de festivales y los ceilómetros de aeropuertos (rayos de luz utilizados para determinar la altitud de las nubes) también son peligrosos para las aves migratorias. Los pájaros quedan atrapados dentro de los rayos de luz y son reacios a volar de regreso a la oscuridad, por lo tanto, continúan circulando dentro de estos rayos hasta que caen al suelo por agotamiento. Lamentablemente, una vez en la superficie, las aves aturdidas o heridas se vuelven vulnerables a la depredación (FLAP 2018).

Efectos sobre los mamíferos: como todos los seres vivos del planeta, la actividad de los mamíferos se encuentra adaptada a los intervalos día-noche, con ciclos circadianos establecidos para regir su fisiología y las alteraciones débiles pueden terminar afectando su comportamiento y generar modificaciones en el ecosistema. Gran número de mamíferos presentan comportamiento nocturno, principalmente aquellos cazadores, pues la ausencia de luz les favorece en su dinámica alimenticia. Por ejemplo los leones, que prefieren salir a cazar en noches de luna nueva o cuando hay máximo un 40% de luna o 0,15 lux; de lo contrario, sus presas fácilmente los evitaría (García 2015). Este es un claro ejemplo de como la luz, incluso natural, condiciona la dinámica de un ecosistema.

Efectos sobre los reptiles: uno de los impactos ecológicos más estudiados y documentados provocados por la luz artificial nocturna es el provocado en el comportamiento de las tortugas marinas. Es de vital importancia su conocimiento y entendimiento, pues en Costa Rica se reporta la presencia de 6 especies: Carey (Eretmochelys imbricata), Caguama (Caretta caretta), Lora (Lepidochelys olivacea), Verde (Chelonia mydas) Verde del Pacífico (Chelonia mydas agassizii) y Baula (Dermochelys coriacea), para las cuales existen sitios de anidación importantes para su conservación tanto en la Costa Pacífica como en la del Caribe del país, pues todas estas especies presentan algún grado de peligrosidad de extinción (Chacón *et al.*2007).

Como lo señala Rondón *et al.* (2009), diversos autores atribuyen a la iluminación artificial efectos negativos sobre los procesos de anidación de las tortugas marinas, como lo es impedir su salida del mar hacia las playas de anidación iluminadas artificialmente, afectando directamente su ciclo reproductivo. Esto probablemente debido a que las tortugas perciben la iluminación artificial como luz diurna, afectando su comportamiento, el cual es usualmente nocturno.

Otro tipo de afectación directa es el expuesto por Ángel 2014, citado por García 2015, para las crías de Caretta Caretta, a las cuales toda luz les afecta, al tanto que luego de su eclosión y en su intento de ir al mar mediante la orientación natural que este les brinda con el reflejo de la luz de luna o las estrellas, pero en presencia de luz artificial en la línea costera, los neonatos se desorientan y muchas veces acaban exhaustos o expuestos a

depredadores. En muchas ocasiones esto sucede masivamente, lo cual podría comprometer la salud de las poblaciones.

En una entrevista con el encargado del departamento de Gestión Ambiental del Instituto Costarricense de Electricidad, se confirman estos ejemplos, pues no son ajenos a la realidad de las zonas costeras del país, como es el caso de la zona caribeña de Tortuguero, donde no ha bastado con adecuar el servicio de alumbrado público para intentar resguardar la ecología de las tortugas marinas, también ha sido necesario que la iluminación utilizada en las viviendas, hoteles y comercios se ajuste a los criterios luminotécnicos recomendados para prevenir la CL. Por esta razón, el ICE se ha planteado un trabajo en conjunto con el Instituto Costarricense de Turismo y la población residente para la prevención de este tipo de contaminación, además de las mejoras continuas al ALPU (para el segundo semestre del 2018, se tiene previsto el cambio de luminarias a LED ámbar).

La afectación a las tortugas marinas no es un caso aislado y aunque el abanico de especies (ya sean animales o vegetales) que componen los ecosistemas nocturnos es amplio, son pocas las especies inmunes a este tipo de CL. De allí surge la necesidad de proteger este tipo de hábitats de los efectos de una iluminación artificial mal diseñada.

4.1.2. Incremento de niveles lumínicos en hábitats humanos

Desde la década de 1970, las imágenes satelitales nocturnas de la Tierra desde el espacio y los modelos matemáticos de cálculo han proporcionado un panorama claro acerca de la continua expansión de la luz artificial vinculada al crecimiento de la población y las actividades económicas, como se muestra en el mencionado *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*. Este mapa es creado a partir de la observación por satélite y modelos informatizados, permitiendo predecir el resplandor luminoso del cielo en función de las variables que influyen -orografía, distancia a las fuentes contaminantes, curvatura de la Tierra, etc.- (Cinzano *et al.*2001). La contaminación lumínica del cielo nocturno, según el Atlas, no está confinada a los países desarrollados (como comúnmente se cree), más bien parece ser un problema a escala mundial, el cual afecta a casi todos los países del mundo.

De igual manera, entre el 2012 y 2016 se evidenció a partir de datos de un radiómetro satelital de la NASA (dispositivo diseñado específicamente para medir el brillo de la luz

nocturna) que el área exterior iluminada artificialmente del planeta creció más del 2,2% por año. Algunas de las "naciones con mayor CL" del mundo (como Estados Unidos y España) permanecieron igual, sin embargo, la mayoría de las naciones de América del Sur, África y Asia aumentaron el brillo en el cielo (NASA's Goddard Space Flight Center 2017).

Mientras la tendencia ha sido dirigida a un incremento de la iluminación artificial durante la noche, algunas regiones económicamente desarrolladas (Holanda, Suecia, Dinamarca, entre otros) muestran patrones más complejos con áreas grandes donde han disminuido la CL. Esto evidencia que sí existen oportunidades para restringir e incluso reducir el impacto ambiental de la contaminación lumínica artificial (Bennie *et al.*2014).

Ahora bien, el exceso de luz no es sinónimo de una buena visión en la ciudades ni de seguridad, estos conceptos no se corresponden directamente. Una iluminación excesiva y sobre todo mal dirigida puede ocasionar deslumbramiento, molestias informativas/distractores, luz intrusa en lugares y horarios de descanso (áreas residenciales), además no solo no ayuda a la prevención del crimen, sino que puede provocar el efecto contrario (García 2015).

En cuanto a este último punto, un estudio de la ciudad de Chicago llamado "The Chicago Alley Lighting Project" encontró una correlación entre el aumento de la delincuencia en las callejones con mayor iluminación, en comparación con un área de control carente de las mejoras de iluminación, la cual no percibió un aumento de delincuencia (Morrow y Hutton 2000). En resumen, aunque la iluminación provoque una sensación de mayor seguridad, esto no implica un espacio más seguro, pues hasta el momento no hay evidencia científica de que el aumento de la iluminación exterior disminuya la delincuencia y acreciente la seguridad.

En este sentido, un grupo de investigadores, liderados por Rebecca Steinbach (2015) de la Escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres, demostraron la posibilidad atenuar o disminuir el alumbrado sin que ello tenga un impacto negativo sobre los accidentes de tráfico o la delincuencia.

Deslumbramiento y confort visual

El deslumbramiento se considera una molestia o distracción causada por fuentes de luminancia no uniforme o alta en el campo de visión de un observador y tiene lugar debido a la incapacidad del ojo humano para adaptarse simultáneamente a fuertes diferencias de luminancia (Boyce, 2015).

Para cuantificar con mayor precisión la sensación de deslumbramiento, existe la necesidad de ir más allá de los cuatro parámetros comúnmente encontrados en los índices de deslumbramiento: primero, la luminancia de la fuente; segundo, el tamaño de la fuente (expresada en términos de ángulo sólido del campo visual y su forma); tercero, la luminancia general de fondo o superficie; y cuarto, el ángulo entre la dirección de visión y la dirección de la fuente de deslumbramiento (Einhorn, 1961, Hopkinson & Collins, 1970; citado por Kent 2016).

Un correcto diseño de un sistema de iluminación debe ofrecer las condiciones mínimas que aseguren el confort visual de la población usuaria. Para conseguir este objetivo, debe establecerse una primera línea de colaboración entre arquitectos, diseñadores de iluminación y las instituciones públicas involucradas, antes de iniciar cualquier proyecto de iluminación, con el fin de evitar errores difíciles de corregir una vez terminado el proyecto.

Para alcanzar el confort visual y reducir deslumbramientos discapacitantes, es indispensable considerar lo establecido por las normativas internacionales para distribución fotométricas de la luminancia, eficiencia de la iluminación y composición espectral de la luz.

Efectos a la salud humana por la luz intrusa

Factores como la exposición a luz artificial en horas de descanso, una intensidad luminosa reducida o de espectro inadecuado durante el día o la disminución del contraste en el ciclo luz-oscuridad son unas de las más frecuentes causas de cronodisrupción. La cronodisrupción se ha definido como una alteración importante del orden temporal interno de los ritmos fisiológicos, bioquímicos o comportamentales, pues cuando esta alteración ocurre, la producción de la hormona melatonina disminuye (CIE 2018).

La glándula pineal se encarga de la síntesis y secreción de la hormona melatonina, que a su vez es estimulada por los ciclos luz-oscuridad, presentando una sincronía respecto a su liberación durante la oscuridad y su supresión en momentos expuestos a la luz (Ventoso 2017).

La participación de la melatonina en el ciclo circadiano se ejecuta a través de dos receptores; el MT1, responsable de inducir el sueño y el MT2, productor de la sincronización del ritmo circadiano. Además, esta hormona funciona como un agente anticancerígeno y su reducción continuada debido a la luz en un momento inadecuado contribuye a la probabilidad del inicio y progresión del cáncer (Ventoso 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, la supresión de la producción nocturna de melatonina constituye un riesgo identificado de diversas patologías (desde obesidad, insomnio, trastornos afectivos, envejecimiento acelerado, deterioro cognitivo) y se ha relacionado con el aumento de la tasas de ciertos tipos de cáncer (mama, próstata y colorrectal) (Ponce 2014, CIE 2018). Incluso, existen indicios de que la exposición a la luz en horas nocturnas puede dificultar la acción terapéutica de algunos fármacos, dificultando así la recuperación del usuario (Dauchy *et al.* 2014 citado por CIE 2018).

Estos efectos son agravados cuando la luz a la cual se expone un individuo posee un componente azul en el espectro de emisión, por ejemplo los LED blanco-azulados, porque estos aceleran la inhibición de la secreción de la hormona melatonina en los seres humanos, pues los receptores circadianos que se encuentran en la retina son precisamente más sensibles a ese pico de emisión luminosa en las longitudes de onda azul (Herranz 2011) y, al ser tejidos oculares más sensibles a la exposición de luz azul, se pueden generar o agravar daños y enfermedades retinianas (CIE 2018).

Costo económico y emisión gases efecto invernadero

El análisis de los dispositivos e instalaciones de iluminación modernos ha demostrado que alrededor del 30-45% del flujo luminoso se convierte en contaminación lumínica, desperdiciando de esta forma miles de millones de dólares y grandes cantidades de energía. Este fenómeno se encuentra directamente relacionado con la generación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, las cuales podrían ser evitadas (Kaptsov *et al.* 2015). Por lo

tanto, debido a la excesiva luz en los Estados Unidos se desperdician alrededor de 2 millones de barriles de petróleo por día.

A nivel mundial, el ALPU representa el 8% del consumo total de electricidad para iluminación, estimado en 218 TWh (De Almeida et al. 2014) y según estudios de la Universidad James Madison, de la cantidad de electricidad desperdiciada por la noche un tercio es por uso de iluminación, esto equivale a alrededor de \$ 2.2 mil millones en pérdidas anuales (Stone 2017). Del mismo modo, una estimación de la pérdida de luz en la Unión Europea predice que los costos anuales son de alrededor de € 5 mil millones (Morgan-Taylor 2014 citado por Stone 2017).

Una reintroducción o protección de la oscuridad puede convertirse en un símbolo del uso eficiente de los recursos de iluminación y cuando es considerada de esta forma, puede tener un valor económico inmenso, particularmente en las regiones urbanizadas. Agregando también que la posible toma de acciones en torno a la CL puede traducirse en una pequeña reducción de emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía, la cual aunque sea pequeña en términos cuantitativos, el impacto político generado para llevar a la toma de decisiones puede ser considerable (Narisada y Schreuder 2004).

4.1.3. Resplandor luminoso de la cúpula celeste

Brillo en el cielo como afectación paisajística y cultural

El estudio de los astros ha sido consustancial al ser humano desde el origen de la civilización. Todas las culturas se han desarrollado con diferentes climas, rodeados de distinta fauna y flora y diversos accidentes geográficos, sin embargo, todos tenían en común el cielo estrellado (Parra *et al.* 2014). La observación de los astros ha permitido la creación de historias, mitos y gracias a ello las culturas se han entrelazado a lo largo de los siglos, enriqueciendo el patrimonio cultural tangible e intangible acumulado por la humanidad que continua registrando y encarnando en la literatura, la escultura, la pintura, la música y otras formas artísticas y tecnológicas (IDA *sf*).

La pérdida de la observación de los astros es la consecuencia más obvia, considerándolo por muchos como un problema que atañe exclusivamente al gremio astronómico. Si bien es

cierto su labor profesional se ve dificultada por la luz artificial, los perjuicios para el resto de la población no resultan tan evidentes (Parra *et al.* 2014). Ante ello, muchos países ya han tomado importantes medidas para minimizar la contaminación lumínica, principalmente en las áreas adyacentes a los observatorios. Desafortunadamente, lejos de los observatorios, muchas de estas medidas aún no se siguen. Como resultado, cerca del 36% de la población mundial para el año 2014 no puede observar la Vía Láctea desde su hogar por el brillo en el cielo (Kyba 2018).

Estudios realizados muestran la influencia del brillo en el cielo ocasionado por las grandes ciudades y su impacto a zonas alejadas, a decenas e incluso centenas de kilómetros de distancia de los puntos focales. Esta afectación produce, además, un efecto sinérgico en la problemática. El hecho de que el cielo brille lo convierte a su vez en un emisor de luz, es decir, se convierte en fuente contaminante de CL. (Beniie *et al.* 2014, Pun *et al.* 2014, Kyba *et al.* 2011, Kyba and Hölker 2013 citado por García 2015).

Este tipo de contaminación lumínica ha sido considerada como una causa o especie dentro de la contaminación visual paisajística, pero por el contrario debe ser abordada, sin duda alguna, como una forma de contaminación ambiental independiente, autónoma. Catalogarla simplemente como una causa de la contaminación visual paisajística (CVP) restringiría enormemente su estudio, siendo contraproducente para la protección del entorno, natural o antrópico. Eso sí, esto no puede hacer olvidar su interrelación con los demás tipos de contaminación; siendo útil en ocasiones incluirla bajo el manto de la CVP. Esto puede facilitar su análisis o, inclusive, su tutela legal (Sevilla 2009). Tanto que a lo largo de esta investigación, se considera también a la contaminación luminosa como una causa de contaminación visual del paisaje nocturno, natural y antrópico.

Específicamente en Costa Rica, en sus diferentes niveles del ordenamiento jurídico, resguarda la problemática de la contaminación lumínica de esta forma: a nivel constitucional, en el artículo 50 se señala: “toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado” y “el Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho”. En efecto, desde la puesta en manifiesto que la contaminación lumínica es una alteración del ambiente natural, resultante exclusivamente de actividades antropogénicas con impactos negativos en los ecosistemas y salud humana, el tema se enmarca constitucionalmente; además, en el artículo 89 se señala “Entre los fines culturales de la

República están: proteger las bellezas naturales, conservar y desarrollar el patrimonio histórico y artístico de la Nación...” (Constitución Política de Costa Rica 1949), esto refleja su aplicabilidad en el principio de la protección de los cielos oscuros (Acosta y Quirós 2015).

El artículo 71 de la Ley Orgánica del Ambiente señala: “Contaminación visual: Se considerarán contaminación visual, las acciones, obras o instalaciones que sobrepasen, en perjuicio temporal o permanente del paisaje, los límites máximos admisibles por las normas técnicas establecidas o que se emitan en el futuro.” Ahora, si bien es cierto solo enuncia la contaminación visual, ella se complementa con el artículo 59 de la misma, el cual define contaminación como: “toda alteración o modificación del ambiente que pueda perjudicar la salud humana, atentar contra los recursos naturales o afectar el ambiente general de la Nación”.

Además, la Sala Constitucional en su Voto N° 2002-6515, definió la contaminación visual como “El cambio o desequilibrio del paisaje, que afecta las condiciones de vida y las funciones vitales de los seres vivos”. Unido a esto, en el artículo 72 de la LOA sobre conservación del paisaje, se puntualiza: “La autoridad competente promoverá que los sectores públicos y privados participen en la conservación del paisaje. Cuando para realizar una obra se necesite afectarlo, el paisaje resultante deberá ser, por lo menos, de calidad igual que el anterior”. En relación a esto se evidencia la necesidad de una eficiente gestión del alumbrado público, la cual vele por la conservación del paisaje desde instituciones encargadas de este sector.

4.2 Medidas existentes para la gestión del alumbrado público que procure un ambiente sano

Con el creciente reconocimiento de que la CL es una cuestión urbana y ambiental apremiante del siglo XXI, nos enfrentaremos cada vez más con complejos debates morales y políticos sobre usos responsables e innovaciones tecnológicas para la iluminación artificial durante la noche (Stone 2017). Enmarcado en ello, se pueden identificar diversos criterios e implementación de medidas de tipo técnico, administrativo, organizacional y tecnológico, las cuales pueden incidir directamente en el control de las diferentes manifestaciones de la contaminación lumínica.

- **Zonificación**

Una de las formas de minimizar los efectos negativos de la contaminación lumínica, de acuerdo con el Light Pollution Handbook (Narisada and Schreuder 2004), es mediante la zonificación de áreas según las actividades desarrolladas en ellas. El objetivo es categorizar los sitios según su sensibilidad a las perturbaciones ambientales, para definir medidas como la intensidad, dirección o rango espectral, aplicables para la iluminación artificial a emplear según el tipo de zona, y de esta manera no se afecte el desarrollo normal de las actividades previstas. La zonificación cuenta con 4 tipos principales de zonas, que van de la E1 (corresponden a las más sensibles) hasta las zonas E4 (comprenden las menos sensibles).

Cuadro 6. Categorías de zonificación de iluminación medioambiental siguiendo la Norma CIE-150.

Zonas ambientales	Entorno	Iluminación ambiental	Descripción/ Ejemplos
E1	Natural	Intrínsecamente oscuro	Son las áreas con las medidas de máxima protección ante la CL: Reservas naturales, parques nacionales, áreas de especial belleza y protección
E2	Rural	Zona de brillo bajo	Zonas periurbanas y rurales
E3	Suburbano	Zona de brillo medio	Corresponde a suburbios industriales o residenciales
E4	Urbano	Zona de brillo alto	Para aquellos sitios destinados para el desarrollo intensivo de actividades por la noche: Centros de ciudades y áreas comerciales

Las áreas silvestres protegidas poseen gran importancia para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, sin embargo, no se puede asumir que la riqueza biológica solo se

encuentra en estos espacios, pues no necesariamente están conservando la totalidad de poblaciones de organismos, incluso algunas especies en peligro de extinción pueden estar habitando zonas fuera de los territorios protegidos.

De acuerdo con Estrada (2013) a nivel global cerca de un 43% de todas las especies de plantas e invertebrados terrestres se encuentran fuera de las áreas protegidas y en Costa Rica no es la excepción. En el caso del Gran Área Metropolitana, esta figura aún como hábitat importante de una gran biodiversidad biológica, pero está sufriendo cambios que aceleran la fragmentación, aislamiento y degradación del hábitat disponible (Acosta 2013).

Como prueba de esto, en un estudio taxonómico realizado en el Parque Metropolitano La Sabana se logró inventariar un total de 341 especies de fauna compuesta por 41 de aves, 219 de árboles, 65 de plantas, 4 de murciélagos, 3 mamíferos, 3 especies de libélulas, 2 de moscas que habitan en el lago en estados larvales, 1 crustáceo, 3 de moluscos (UNED 2017). Además, en el IV Censo Anual de Aves Del Valle Central realizado por la Unión de Ornitólogos de Costa Rica en enero del año 2016, se reportó el avistamiento de 184 especies, de las cuales 2 fueron nuevos respecto al año anterior, llegando a un total de 252 especies reportadas en el área de estudio, el cual comprendía 12 rutas de observación (UOCR 2016).

La iluminación artificial es uno de estos impactos que contribuyen al detrimento de la biodiversidad en el país, incluso en áreas urbanas, donde es necesario proteger aquellos remanentes de áreas con algún tipo de cobertura forestal, como bosques de galería, bosques secundarios, charrales, jardines, áreas de cultivo, plantaciones forestales, parques y cuerpos de agua, los cuales actúan como zonas de refugio, reproducción, fuentes de alimento y nichos ecológicos, para diversas especies de flora y fauna, aumentando la heterogeneidad y la conectividad estructural y funcional del paisaje (Estrada 2013).

De acuerdo con lo anterior, y siguiendo a García 2015, las propuestas de zonificación para protección de espacios de la contaminación lumínica pueden ser insuficientes, porque generalmente son normativas obsoletas, pues no contemplan las nuevas tecnologías de alumbrado público como la LED, a su vez no han sido estudiados por completo sus impactos en ecosistemas naturales, su magnitud o extensión territorial representada, dejando las posibilidades de una “erosión” constante del ecosistema natural nocturno. Un

claro ejemplo de esto es la intromisión lumínica, indirecta o general, manifestada a partir del brillo en el cielo durante la noche, pues actúa como un emisor de luz residual, capaz de alterar ecosistemas naturales; la cual, aunque sea a niveles muy bajos, puede ser suficiente para alterar comportamientos de caza, reproducción, etc. en animales de actividad nocturna más sensible (CIE 2018).

- **Limitación del espectro de emisión de las fuentes de luz**

Entre la serie de consideraciones necesarias respecto a la calidad de luz para el alumbrado público en el marco de prevenir y minimizar la contaminación lumínica, se encuentra el espectro de emisión de las fuentes de luz. Este debe poseer una baja emisión en las bandas cortas de longitud de onda, con el objetivo de evitar los impactos nocivos que representan estas emisiones para los seres vivos y su dispersión en el espacio en función de las condiciones atmosféricas (García *et al.* 2012).

Las fuentes de luz con un importante componente de luz fría, como la azul o la blanca, poseen mucha más facilidad de dispersarse y maximizar efectos de la contaminación lumínica, como la intromisión lumínica indirecta (García *et al.* 2012).

Dado al actual momento tecnológico de la industria de la iluminación, donde fabricantes y usuarios están migrando a la tecnología LED, es necesario puntualizar algunos aspectos específicos para estas fuentes de luz y su papel en el marco de la contaminación lumínica, aunque es posible extrapolar las consideraciones también a otras fuentes de luz en función de su espectro de emisión.

De acuerdo con el último informe sobre riesgos de la tecnologías LED del Comité Español de Iluminación (CIE) publicado en 2018, esta nueva fuente de iluminación mediante diodos luminiscentes emite en su mayoría luz blanca a partir del color azul y su posterior conversión con fósforos a distintos colores, generando un espectro típico para esta tecnología con un pico de emisión en el azul más o menos pronunciado en función de la temperatura de color correlacionada (TCC) final del diodo blanco.

Este pico de emisión azul es la principal razón por la cual la tecnología LED resulta nociva para los intereses de la protección de los ambientes nocturnos, por su potencial ante la

formación del brillo de fondo mediante el fenómeno físico de esparcimiento de Rayleigh, el cual es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda, de esta forma el componente azul del espectro tiene un potencial intrínseco de esparcimiento mucho mayor que otros colores. Generalmente, las soluciones tecnológicas para minimizar la presencia de radiación de onda corta son mediante el empleo de lámparas de vapor de sodio, sistemas de filtración o elementos de radiación controlado por debajo de 440 nm o 500 nm.

Asimismo, se advierte que la evaluación de las diversas fuentes de luz respecto a la contaminación lumínica nocturna se ha realizado comparando el porcentaje de emisión de azul respecto al total de emisión del espectro de la fuente de luz, pero estas estimaciones pueden no ser totalmente confiables, por lo tanto, propone *El sistema de índices espectrales como recurso para la caracterización de las lámparas*, el cual permite establecer comparaciones en términos de luz azul frente al espectro normalizado según la curva de sensibilidad espectral del ojo humano, es decir, la potencia de luz azul (W/nm) frente al flujo o potencia luminosa (lm). Entonces se obtienen comparaciones más adecuadas y equitativas sobre la cantidad de luz azul radiada para un nivel de iluminación determinado y con estos índices es posible caracterizar de forma numérica y objetiva diversas fuentes de luz (CIE 2018).

Es necesario tomar en cuenta que la temperatura de color es una característica cualitativa de las fuentes de luz, la cual indica su coloración por comparación respecto al del cuerpo negro o del radiante perfecto teórico, tomando como principio el comportamiento del cuerpo incandescente frente al aumento de su temperatura; como se indica en la figura 3.

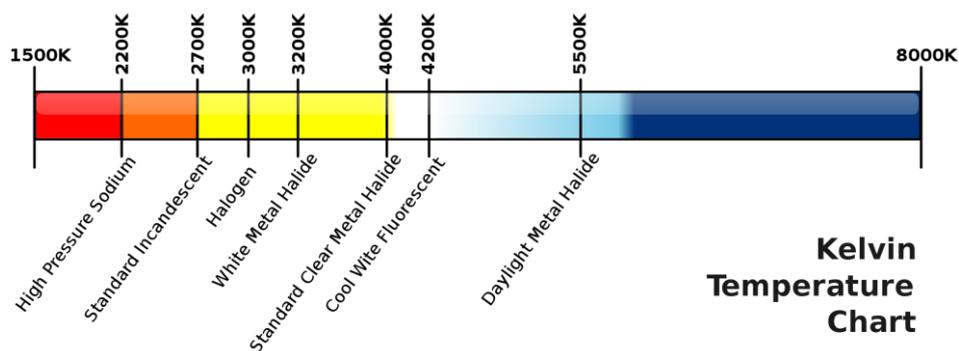


Figura 3. Temperaturas de color comunes para distintas fuentes de luz. Fuente: IDA 2015.

La TCC no es un criterio para conocer la existencia del componente azul del espectro de emisión, pues es posible encontrar para fuentes de luz con características similares, distribuciones espectrales distintas como se observa en la figura 4, donde se representa la distribución espectral de una luminaria tipo LED con una TCC de 2700 kelvin, con un pico de emisión sobre los 600 nm y otro mucho menor entre los 440 y 450 nm; y en la figura 5 se observa una luminaria tipo LED con una TCC de 3033K con un pico de emisión sobre los 600 nm y otro casi similar entre los 440 y 450 nm. Esto evidencia lo siguiente: entre luminarias con características muy similares, una puede resultar más inocua que la otra en términos de contaminación lumínica; y las temperaturas de color en fuentes de luz LED cálido también pueden emitir longitudes de onda dañinos para los ecosistemas nocturnos.

La composición espectral cambia más evidentemente según las distintas fuentes de luz existentes, como se observa en la figura 6, donde las fuentes de sodio de alta presión comprenden el espectro más inocuo en términos de contaminación lumínica, debido a la nula radiación de ondas de longitud corta, caso contrario de las fuentes tipo LED con temperaturas de color frías cercanas a los 5500 K, que presenta un importante pico de emisión cerca de los 440 nm.

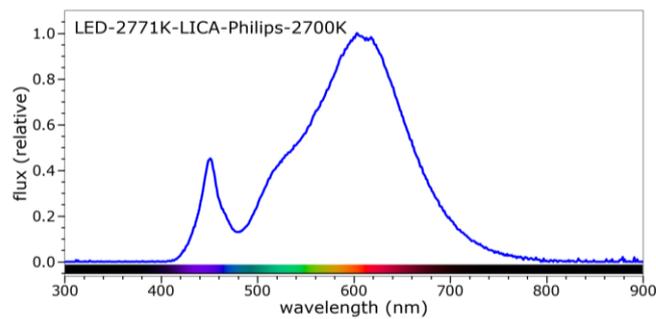


Figura 4. Distribución espectral para una luminaria tipo LED con una TCC DE 2700K. Fuente: Tapia *et al* 2015

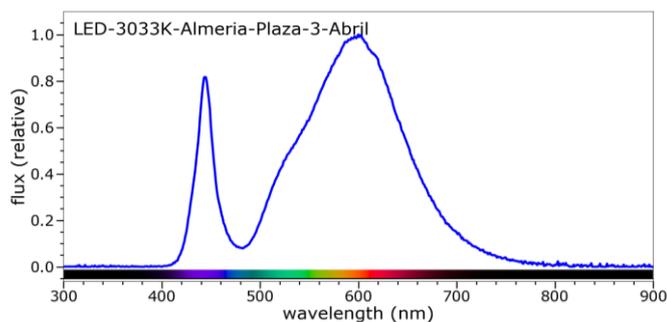


Figura 5. Distribución espectral para una luminaria tipo LED con una TCC DE 3033K. Fuente: Tapia *et al* 2015.

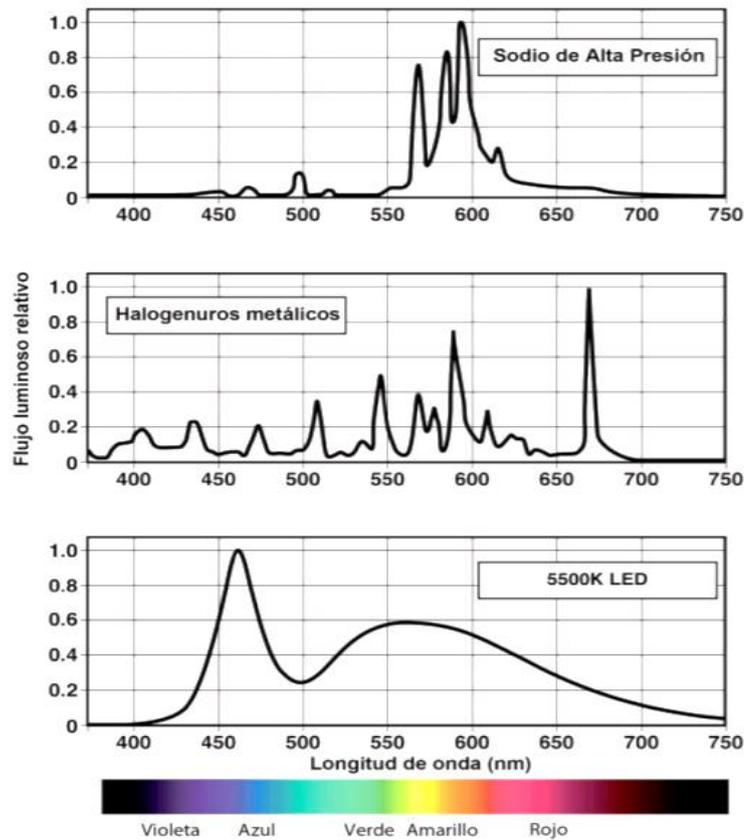


Figura 6. Composición espectral de tres fuentes de luz mayormente utilizadas en la iluminación de exteriores: Fuente: Herranz *et al* 2011.

- **Telegestión y sistemas inteligentes de iluminación**

El eje ambiental del servicio de ALPU propuesto, además de incluir medidas entorno a ahorro energético, implica iluminar aquello que se debe iluminar, durante el tiempo debido, con la potencia adecuada y con el espectro de luz menos perjudicial para los ecosistemas. Esto puede ser posible a través de los sistemas de telegestión y los sistemas inteligentes de iluminación (CEI 2018).

Por una parte, el término telegestión se refiere al conjunto de tecnologías informáticas, electrónicas y de telecomunicaciones, las cuales permiten gestionar automáticamente, cumpliendo con protocolos de operación y estándares de calidad, la supervisión y control de forma remota y en tiempo real, facilitando además la programación de trabajos que

requiere la prestación de un servicio, en este caso la del servicio de Alumbrado Público (González 2014).

Por otra parte, los sistemas inteligentes de iluminación (además de englobar la telegestión), también comprenden sensores de movimiento y velocidad que detecten la presencia de personas o automóviles, regulando la intensidad de luz emitida por las luminarias, es decir, logran determinar de forma automática la cantidad de luz artificial necesaria en cada momento (Martín *et al.* 2014).

El ajuste de los niveles de iluminación a las necesidades de cada momento evita radiaciones e intensidades sobrantes y no útiles, esto permite que los efectos negativos de la iluminación artificial nocturna sean minimizados (CIE 2018). Estas medidas no solo se contribuyen a la minimización de la CL, sino también a los costos energéticos, los cuales pueden ser optimizados.

A través de la implementación de estas tecnologías también es posible el análisis del desempeño de los componentes de las luminarias, detectando e informando de averías en tiempo real, lo cual facilita y agiliza los procesos de eliminación de las causas que producen deficiencias en el servicio. En consecuencia, es probable percibir una disminución de las quejas por parte de la población usuaria. Además, al disponer de información en tiempo real del estado de cada componente, se puede aprovechar al máximo la vida útil de cada uno de ellos (González 2014).

No obstante, el desconocimiento de la infraestructura que se dispone para la prestación del servicio y la inexistencia de inventarios operativos y actualizados siguen siendo las principales dificultades para la puesta en marcha de estos proyectos. Es urgente entonces la priorización de un sistema de información el cual incluya, además, la identificación y evaluación de las necesidades del parque de ALPU y así se pueda analizar la factibilidad de contar con un sistema de telegestión (Patiño 2010).

- **Factor de utilización de la luminaria y utilancia:**

La luz emitida por una luminaria no solo ilumina la zona necesaria, sino también alcanza sus alrededores. Por un lado, el factor de utilización (k) expresa el porcentaje aprovechado

en la iluminación (flujo útil) y, por otro, la utilancia (u) la relación entre el flujo útil y el emitido por las luminarias. Su finalidad es calcular la distancia de separación adecuada entre las luminarias que garantice un nivel de iluminancia medio determinado. Se debe procurar utilizar ópticas con luminarias de alto rendimiento y cuyo haz luminoso se adapte a la superficie a iluminar, iluminando únicamente lo necesario, y el diseño tenga un alto factor de utilización mantenida.

Se debe procurar que el k mantenido en la zona a iluminar sea superior al 50%, evitando colocar los proyectores alejados de esta o, en su caso, minimizar la luz proyectada en la zona no útil. El inicio de la zona útil a iluminar deberá estar a una distancia de la base del poste de la luminaria no superior al valor de la altura de este (Instituto de Astrofísica de Canarias 2015).

Fórmulas:

$$k \approx \frac{\text{nivel medio (lux)} \times \text{superficie de cálculo (m}^2\text{)}}{\text{lumenes instalados}}$$

$$u = \frac{k}{\eta \text{ (rendimiento de luminaria)}}$$

- **Eficacia luminosa**

La eficacia luminosa se define como la relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara y la potencia consumida por esta. En otras palabras, es la capacidad que tiene la fuente de luz para aprovechar la energía consumida y convertirla en energía visible (lm/W). En Costa Rica la directriz 011-MINAE establece un mínimo de 80 lm/W de eficacia luminosa para las tecnologías de fluorescentes T-8, LED, haluro metálico, sodio alta presión.

Rendimiento de luminaria

También conocido como Lighting Output Ratio (L.O.R.). Se refiere a la relación entre el flujo total (Φ_t) procedente de la luminaria ya instalada (todo su conjunto) y el flujo emitido por la lámpara (Φ_l) instalada en la luminaria. Este valor se determina porque parte del flujo luminoso que genera la lámpara es absorbido por la luminaria, en otras palabras, un

porcentaje del flujo queda en su interior (CIE 2010). Según las normativas internacionales, este valor debe ser mayor o igual a 60.

Su símbolo es η y carece de unidades. Se expresa de la siguiente forma:

$$\eta = \frac{\text{Øt}}{\text{Øl}}$$

- Iluminancia vertical

La iluminancia vertical hace referencia a la medida de la densidad del flujo luminoso que incide sobre áreas circundantes a una instalación de alumbrado artificial; lo cual puede implicar un efecto de luz intrusa si el flujo luminoso incide en ventanas y fachadas de las viviendas, que en función de su magnitud puede modificar el entorno doméstico y las actividades humanas (CIE 2003, citado por Acosta y Quirós, 2014).

Los siguientes límites son aplicables a las viviendas cercanas, o viviendas potenciales, más específicamente a sus superficies relevantes o partes de superficies, especialmente donde están las ventanas. Los valores son la suma de todas las instalaciones de iluminación (Comisión Internacional de Iluminación 1997).

Cuadro 7. Valores máximos de la iluminancia vertical en propiedades.

PARÁMETRO LUMINOTÉCNICO	ZONAS MEDIOAMBIENTALES			
	E1	E2	E3	E4
Iluminancia vertical (E _v)	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux

Fuente: Comisión Internacional de Iluminación 2003

- Intensidad luminosa

La mayor parte de la información visual que recibimos no se debe a la luminancia sino a las variaciones de luminancia detectadas por el ojo en el campo visual, es decir, el

contraste de luminancias. Estas variaciones de luminancias en el campo de visión afecta al confort visual. Por ello deben evitarse las siguientes circunstancias:

- Luminancias demasiado elevadas, que pueden dar lugar a deslumbramiento.
- La sensibilidad del ojo a la detección del contraste aumenta con la "luminancia de adaptación".
- Luminancias demasiado bajas y contrastes de luminancias demasiado bajos, que pueden dar como resultado un ambiente visual mortecino y no estimulante (García 2015).

Naturalmente, esta luminancia depende tanto del nivel de iluminación como de la reflectancia de las superficies del entorno.

Para su control, la norma CIE 150 propone límites máximos para intensidad de las luminarias en direcciones que pueden afectar el campo de visión del usuario del alumbrado público (desde posiciones donde tales campos de visión es probable que se mantengan, p.e. donde no hay campo de visión de forma momentánea o por un espacio corto de tiempo (Comisión Internacional de Iluminación 2003, citado por Acosta y Quirós 2015).

Cuadro 8. Valores máximos para la intensidad de las luminarias en direcciones determinadas.

PARÁMETRO LUMINOTÉCNICO	CONDICIONES DE APLICACIÓN	ZONAS AMBIENTALES			
		E1	E2	E3	E4
Intensidad luminosa emitida por luminarias	Flujo nominal	2500 cd	7500 cd	10000 cd	25 000 cd

Fuente: Comisión Internacional de Iluminación 2003

- Proporción de luz emitida hacia arriba UHF / FHS

La dirección de la luz es uno de los fenómenos que determina el esparcimiento de esta en la atmósfera, como en lo explica el *esparcimiento de Mie*, donde la interacción de la luz con los aerosoles produce su esparcimiento en direcciones preferentemente alineadas a lo largo de la dirección de propagación, debido a estas partículas en suspensión. Si bien es

cierto, este fenómeno depende del tamaño y composición de las partículas suspendidas, en el caso de las partículas más comunes en la zona baja de la atmósfera, hay una mayor correspondencia con las longitudes de onda cortas y un contraste menor para la parte roja y azul/violeta del espectro. Así, por esta razón la luz en los ángulos próximos a la horizontal en las luminarias sin apantallar, se propague enormes distancias, y por lo que se comprueba que la contaminación lumínica no es un fenómeno local, sino que sus efectos negativos se pueden manifestar a grandes distancias (Malón 2018).

Siguiendo lo anterior, según estudios recientes realizados por la US Naval Observatory Flagstaff Station (Arizona), el ángulo de 0° a 5° respecto a la horizontal de una luminaria es la zona más crítica en cuanto al resplandor luminoso nocturno e intrusión en entornos a decenas de kilómetros de la fuente de luz. Esto mediante el estudio de la relación entre los ángulos de emisión de las luminarias y el resplandor luminoso nocturno, a partir de la modelización de nueve fuentes de luz diferentes emitiendo desde 0° hasta 90° en rangos de 10° desde el cenit, con lo cual se determinó que luminarias con $FHS_{inst} = 3\%$ producen entre un 80% y un 290% más de resplandor luminoso a 50 km y 200 km respectivamente, mientras en luminarias con $FHS_{inst} \approx 0\%$, y en un núcleo urbano con un 10% de FHS_{inst} , la emisión directa produce las 3/4 partes del resplandor a 50 km y más de las 9/10 partes del resplandor a 200 km (Malón 2018).

Es así como uno de los aspectos críticos para evitar la CL es el Flujo Hemisférico Superior, el cual se expresa en porcentajes que indican la proporción la luz emitida por encima de la horizontal, como sigue:

-Flujo Hemisférico Superior, en inglés Upward Lighting Output Ratio (U.L.O.R.):

$$\mathbf{F.H.S. (\%)} = (\Phi \text{ sobre la horizontal} / \Phi \text{ total lámpara}) \times 100$$

-Flujo Hemisférico Superior, en inglés Upward Lighting Output Ratio (U.L.O.R.):

$$\mathbf{F.H.S.i (\%)} = (\Phi \text{ sobre la horizontal} / \Phi \text{ total saliente luminaria}) \times 100$$

Para efectos de regulación y verificación, el criterio aplicado es el $F.H.S.i$, el cual siempre será mayor al $F.H.S.$, para el cual siempre se cumple que $F.H.S.i = F.H.S./\text{rendimiento}$.

- **Ángulos de instalación**

El recorrido que tiene el flujo lumínico por la atmósfera afecta de forma importante. Cuando la luz se emite en ángulos cercanos a la horizontal, el haz lumínico recorrerá mayor distancia por la atmósfera y por zonas de mayor concentración de partículas. Por lo tanto, tendrá mayor probabilidad de dispersarse.

Para las luminarias instaladas por medio de un brazo de soporte en los postes de distribución, es preciso ajustar en 0° su ángulo de inclinación; para direccionar la luz hacia la vía y las aceras y minimizar la luz que incide en la fachada de edificios y viviendas circundantes, como al cielo (Acosta y Quirós 2015).

4.3. Diagnóstico situacional del Alumbrado Público en Costa Rica

En el país intervienen distintos actores y factores con injerencia directa e indirecta en la gestión del servicio de alumbrado público; desde los prestatarios del servicio, hasta las empresas encargadas de ofrecer las tecnologías. A continuación, se presentan los principales hallazgos a nivel organizacional, operativo y tecnológico que dan forma a la prestación del servicio con el cual cuenta el país actualmente.

4.3.1. Nivel organizacional

Para comprender la configuración organizacional del servicio de alumbrado público en el país, es preciso señalar que el sector eléctrico costarricense posee una amplia participación del estado, quien tiene a cargo desde la formulación de política pública, hasta la fijación de tarifas para la prestación de los servicios.

Por una parte, el servicio de alumbrado público forma parte de las fases de distribución y comercialización del mercado eléctrico nacional, las cuales son consideradas como un bien público. Para el año 2015 correspondió en términos de ventas totales de energía en aproximadamente un 78,5% al ICE y un 20% a la CNFL, JASEC, ESPH y las cuatro cooperativas de electrificación rural que existen en el país, en cuotas similares de participación (Loría y Martínez 2016).

Por otra parte, le corresponde al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) ejercer la rectoría y dirección política del sector energía, mediante la emisión de las políticas ambientales, el manejo y uso sostenible de los recursos naturales y la promoción del uso de las fuentes de energía renovables, de acuerdo con lo dispuesto en el Plan Nacional de Desarrollo. Además, la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) se encarga de la regulación tarifaria y del otorgamiento de las concesiones de servicio público (Loría y Martínez 2016).

Este servicio además es contemplado en la principal herramienta de planificación para el sector eléctrico nacional, el Plan Nacional de Energía 2015 - 2030 (PNE). Según se indica en el Decreto Ejecutivo que lo oficializa, el PNE “es un instrumento de dirección, coordinación y articulación que orientará las decisiones y acciones para que el subsector contribuya al crecimiento y al desarrollo para mejorar la competitividad del país”. Ligado a lo anterior, en el diagnóstico del PNE se determinó que es deseable mejorar la eficiencia de la tecnología utilizada para este servicio, debido a su significativo consumo de energía en la matriz energética nacional (específicamente representó el 2,7 % del consumo de electricidad durante el 2014) razón por la cual se definieron dos objetivos específicos para mejorar el alumbrado público:

- Asegurar el alumbrado público eficiente: mediante la elaboración de planes de alumbrado público eficiente por parte de cada empresa distribuidora y el diseño de una norma de alumbrado público.
- Mejorar la eficiencia de los equipos utilizados para brindar el servicio eléctrico: por medio de la firma de una directriz institucional interna de eficiencia energética para equipos de la cadena de la oferta, además de establecer la normativa de eficiencia de equipos para el servicio eléctrico.

El cumplimiento de los objetivos en el plazo y términos establecidos, según lo establece el PNE 2015-2030, es responsabilidad del MINAE como rector de y la Comisión Nacional de Conservación de Energía (CONACE), que vía decreto se establece su obligación de desempeñar un rol determinante en la coordinación interinstitucional, junto con las distribuidoras eléctricas como ejecutores. Esta disposición de competencias brinda un claro panorama de la configuración organizacional del servicio de alumbrado público en el país,

en donde la mayor cuota de responsabilidad y ejecución recae tanto en la CONACE como en los prestatarios del servicio.

En cuanto a lo planteado en el PNE 15-30 sobre el diseño de una norma de alumbrado público, en una entrevista realizada a Alfonso Herrera Herrera de la Secretaría de Planificación Subsector Energía del MINAE, se menciona que la participación del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) toma carácter fundamental para el proceso de normalización, pues mediante comisiones multisectoriales INTECO crea las normas técnicas voluntarias, las cuales a la vez sirven de base para la creación de un reglamento técnico obligatorio para el alumbrado público. Este reglamento actualmente se encuentra en sus etapas iniciales de formulación y pendiente de su aprobación definitiva.

Como último actor de la parte organizacional del servicio de alumbrado público en el país, se encuentran los Gobiernos Locales, a los cuales de conformidad con el artículo 74 del Código Municipal les corresponde prestar el servicio de alumbrado público en su respectiva jurisdicción, en aquellos lugares de libre circulación, como vías públicas y parques, pertenecientes al dominio público municipal. Sin embargo, el mismo Código Municipal otorga la potestad a los municipios de establecer convenios en pro de la eficacia y eficiencia en sus gestiones, que a su vez permite la prestación del servicio de alumbrado público, mediante contratos interadministrativos efectuados entre sujetos de derecho público, por disposición de la Ley de Contratación Administrativa.

De esta forma, la prestación del servicio de alumbrado público desde las municipalidades, se puede atender desde dos formas de trabajo: brindarse desde la gestión del municipio, de acuerdo con las capacidades técnicas y administrativas con que cuente para dicho fin, o bien, involucrar a un sujeto de derecho público, como lo son el ICE, ESPH, CNFL y las cooperativas de electrificación rural.

Gestión municipal

Las municipales gozan de autonomía constitucional, como lo indica la sentencia 4807-10 de la Sala Constitucional “La autonomía municipal debe ser entendida como la capacidad de decidir libremente y bajo su propia responsabilidad, todo lo referente a la organización de determinado cantón”. Estas pueden asumir las funciones y actividades que crean

convenientes, para administrar y satisfacer los intereses locales a través de los acuerdos municipales.

Dentro de estas posibilidades pueden destacarse el desarrollo de infraestructura, organización del uso del territorio, protección del medio ambiente, seguridad ciudadana, contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, su autonomía para la toma de decisiones puede ser cuestionada debido a la falta de consistencia y la ambigüedad que han caracterizado aspectos de su marco legal (Zamora 2003) Esto ha sido evidenciado en los resultados mostrados a continuación:

Ninguno de los municipios estudiados tiene las capacidades para brindar el servicio de alumbrado público; entonces, en todos los casos, en sus territorios cuentan con alguna empresa prestataria del servicio operando bajo la figura de concesión, los cuales son acuerdos voluntarios sin fines de lucro, donde se establece que los costos por administración y operación del servicio, rigen a partir de lo estipulado por la ARESEP sobre el importe correspondiente al servicio de alumbrado público.

Por un lado, nueve de los diez gobiernos locales entrevistados concuerdan en la necesidad de contar con mayor injerencia y participación en la toma de decisiones en cuanto a la prestación de este servicio, señalando la importancia de asumir como institución, un compromiso activo por la mejora de la calidad de vida de sus habitantes y ecosistemas presentes en sus territorios.

Por otro lado, seis de los diez municipios aseguran que no han condicionado técnicamente la forma como se brinda este servicio, a excepción de las municipalidades de Curridabat, San José y Heredia. En el caso de Curridabat, ha solicitado la implementación de paneles solares como alternativa a la generación distribuida de electricidad, San José y Heredia han solicitado adecuar el servicio en términos estéticos, con el fin de armonizar el paisaje urbano. Sin embargo, la ejecución de estos proyectos quedan en manos de las empresas prestatarias y las solicitudes han sido atendidas de manera parcial.

Un caso particular es el de la Municipalidad de Cartago, quien ha acordado con la empresa prestataria en su territorio implementar una iluminación de vías que contemple los

requerimientos lumínicos necesarios para el tránsito en las ciclovías existentes, además de aumentar la iluminación en zonas con altos índices de criminalidad.

Según las entrevistas aplicadas, por un lado los municipios demuestran desconocimiento sobre las medidas técnicas necesarias para evitar la CL en sus territorios, por otro, concuerdan en la forma de intervención mediante políticas públicas y reglamentos para reducir la contaminación existente y además evitar que las nuevas luminarias instaladas generen un mayor impacto negativo.

Ocho de los diez municipios estudiados, demuestran que pueden ejercer injerencia directa para atender el tema de la contaminación lumínica, desde la creación de reglamentos específicos (ver cuadro 9). Un ejemplo de esto son los reglamentos aplicados para definir los requisitos para instalar letreros publicitarios en sus respectivos territorios, muchos de los reglamentos en mención prohíben o regulan la colocación de rótulos o pantallas luminosas, conocidas internacionalmente como otra de las importantes fuentes de CL y uno de los principales distractores visuales sobre las vías públicas de tránsito.

Cuadro 9. Aspectos de publicada exterior luminosa regulados por las municipalidades que conforman la unidad de análisis.

Municipalidad	Nombre del Reglamento y aspectos luminotécnicos considerados
San José	<i>Reglamento publicidad exterior.</i>
	Prohíbe rótulos, que por sus dimensiones y posición se consideren peligrosos, tales como: a) Los que obstruyan la visibilidad o tengan reflectores con efectos intermitentes, que puedan deslumbrar a los conductores o puedan confundirse con las señales de tránsito.
Belén	<i>Reglamento para la Instalación de Anuncios, Rótulos Letreros o Avisos</i>
	En su artículo 18 indica que los anuncios luminosos deben ser de materiales apropiados, artísticos e iluminados convenientemente. Se prohíben los espejos ni materiales que deslumbren, dañen o simplemente molesten la vista de las personas. La variación de la iluminación de los anuncios que tengan cambios de luz, no debe ser mayor del cincuenta por ciento de las arterias comerciales, y del treinta por ciento de las demás vías.

Cartago	<i>Reglamento para la instalación de publicidad exterior</i>
	<p>El objetivo del reglamento es regular y controlar todo lo referente a publicidad exterior, y rótulos de funcionamiento en el cantón de Cartago, con el fin de lograr un paisaje urbano en armonía con el ambiente y el ser humano dentro de la jurisdicción del cantón central de Cartago.</p> <p>Prohíben la instalación de rótulos luminosos. No obstante, podrán colocarse rótulos con iluminación externa, la cual no podrá usar espejos, deslumbrar, dañar o molestar la vista de las personas con sus reflejos, alternativas de luz y oscuridad absoluta, con contrastes de colores vivos y/o sus concentraciones de luz intensas, mayores a las producidas por la iluminación pública instalada en sus cercanías.</p>
Santa Ana	<p>REGLAMENTO PARA REGULAR Y CONTROLAR LA PUBLICIDAD EXTERIOR EN EL CANTÓN DE SANTA ANA</p> <p>Artículo 17.—Prohibiciones: f. Los materiales reflectantes, las concentraciones intensas de luz, luces intermitentes, así como los colores vivos o fosforescentes que puedan perturbar la visibilidad de transeúntes y conductores.</p>
Escazú	<p>Cuenta con Requisitos para Licencia Municipal para Instalación de Publicidad Exterior, pero no condiciona el uso de sistemas luminosos en rótulos.</p>
San Carlos	<p>REGLAMENTO PARA LA INSTALACIÓN DE ANUNCIOS, RÓTULOS, LETREROS Y AVISOS COMERCIALES.</p> <p>Artículo 16.-Los anuncios luminosos deben ser de materiales apropiados, artísticos y convenientemente luminosos. En estos anuncios o en los que se usen espejos, no se permitirá el deslumbrar, dañar o concentraciones de luz intensos, las alternativas de luz no será mayor del 50% en las arterias comerciales y del 33% en las demás vías.</p>
San Rafael	<p>No condiciona el uso de sistemas luminosos en rótulos</p>
Heredia	<p>Formulario Para el Cobro de Rótulos, Anuncios y Vallas Publicitarias</p> <p>Señala que no pueden instalarse anuncios, avisos, programas, en lugares como los siguientes: g) En lugares en donde inciden en la visibilidad para el tránsito. h) En cerros, rocas, árboles, en que pueda afectar la perspectiva</p>

panorámica o la armonía de un paisaje.

Curridabat

REGLAMENTO PARA LA REGULACIÓN DE LA PUBLICIDAD EXTERIOR EN EL CANTÓN DE CURRIDABAT.

Establece diferentes requisitos para la colocación de publicidad exterior, en función de las zonas: Residencial, Comercial o industrial.

Donde las restricciones en cuanto a luz artificial menciona: Artículo 22º.- Se permiten la instalación de rótulos luminosos y podrán colocarse rótulos con iluminación externa, la cual no podrá usar espejos, deslumbrar, dañar o molestar la vista de las personas con sus reflejos, alternativas de luz y oscuridad absoluta, con contrastes de colores vivos y/o sus concentraciones de luz intensas, mayores a las producidas por la iluminación pública instalada en sus cercanías.

Moravia

En cuanto a publicidad exterior menciona como requisito: Carta de autorización del MOPT cuando se trate de publicidad exterior adyacente a la red vial nacional.

Reglamento al Plan Regulador

En su artículo 61 indica que los anuncios luminosos, deben ser de materiales apropiados, artísticos e iluminados convenientemente. En anuncios luminosos o en los que se usan espejos, deberán evitarse el deslumbrar, dañar o simplemente molestar la vista de las personas. Se prohíben reflejos o concentraciones de luz intensos, las alternativas de luz y oscuridad absoluta y los contrastes perjudiciales de colores vivos.

La variación en la iluminación de los anuncios que tengan cambios de luz, no será mayor del cincuenta por ciento en las arterias comerciales y de treinta y tres por ciento en las demás vías.

Asimismo, cinco municipios han participado directa o indirectamente en la iluminación de espacios públicos, pero específicamente en alumbrado festivo. Todos declaran no contar con recurso material, humano ni criterios técnicos específicos para brindar servicios de este tipo. En suma, el tema de la eficiencia energética se limita a lo exigido mediante los Programas de Gestión Ambiental Institucional, que a la postre no tienen la capacidad de incidir en evitar o minimizar la CL.

Percepción de la problemática por parte de los Gobiernos Locales

La prestación del servicio de alumbrado público, no se encuentra en la agenda de trabajo de las municipalidades del país, como se demuestra mediante las entrevistas aplicadas a diez municipios del país, pues ninguno presta este servicio en su territorio. Además, las municipalidades tampoco manejan alguna definición de contaminación lumínica para sus gestiones, por lo que no han identificado fuentes de contaminación lumínica.

Por un lado, para todos los municipios entrevistados el tema de la contaminación lumínica es nuevo y desconocido, con necesidad de estudiarse localmente, pues desconocen las medidas técnicas necesarias para evitar los impactos negativos del uso de la luz artificial en sus territorios, por otro lado, concuerdan en que una forma de prevenir la CL es mediante una regulación a distintos niveles, como políticas públicas y reglamentos. Asimismo, en el caso específico de las municipalidades de San Rafael y Belén, estas visualizan la posibilidad de abordar la problemática desde el marco regulatorio existente, como las políticas de compras verdes del estado, los Programas de Bandera Azul Ecológica y mediante los procesos de licitación pública, desde donde se pueden incluir los criterios técnicos necesarios para minimizar o evitar la contaminación lumínica en sus obras y proyectos. Asimismo, todos consideran una buena estrategia de abordaje para el tema la vinculación con la población mediante diferentes procesos de información y comunicación.

Percepción de la problemática por parte de los entes rectores y ente regulador

Como se ha mencionado anteriormente, la contaminación lumínica es un fenómeno muy amplio, tanto desde el punto de vista de sus fuentes generadoras, como de los impactos que puede generar a nivel ecológico y salud pública, además las propuestas para su minimización y saneamiento generalmente requieren de la relación positiva entre actores sociales.

Por esta razón, es de suma importancia determinar una línea base de la percepción de la CL a nivel de las instituciones públicas que se definieron como entes con capacidad y atinencia rectora. Para este fin, se diseñó y aplicó un instrumento capaz de estudiar la percepción de la ARESEP y los entes rectores de la unidad de análisis en relación con la CL, como se detalla en el siguiente cuadro

Cuadro 10. Percepción sobre la contaminación lumínica por parte de la ARESEP como ente regulador y los entes rectores que conforman la unidad de análisis, Parte 1.

Institución	Cuenta con una definición de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos y gestiones	¿Se han identificado fuentes de CL?	Identificación de efectos	Percepción de la problemática a nivel nacional
Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos	No	No	No	Desconocimiento

Ministerio de Salud	No	Solo las pantallas y rótulos luminosos (pero considerado como contaminación visual)	Distracción e encandilamiento	Tema poco investigado y conocido.
Instituto de Fomento y Asesoría Municipal	No	No	No	Poco conocida
Secretaría de Planificación Subsectorial de Energía de Costa Rica	No	No	No	Poco conocida
Sistema Nacional de Áreas de Conservación	No	Sí, en áreas costeras	Efectos sobre las tortugas marinas	Poco conocida

Ministerio de Obras Públicas y Transportes	No	Solo las pantallas y rótulos luminosos	Distracción e encandilamiento	Desconocimiento
Laboratorio Eficiencia Energética	No	No se ha ocupado en identificar fuentes de CL, pero sí está en la capacidad de dar un resultado del nivel de contaminación.	La iluminación que se va hacia arriba se toma más por iluminación que se está perdiendo, que por iluminación que está contaminando.	Es un tema aún bastante nuevo. No hay limitante tecnológica para evitar la CL. Considera importante encaminar una propuesta para prestatarios del ALPU que proteja el ambiente nocturno
Dirección de Gestión de Calidad Ambiental	No	No	No	Temática poco abordada.

De acuerdo con el cuadro anterior, se puede determinar una gran desinformación sobre la contaminación lumínica a nivel institucional, al punto de no existir definiciones para esta a nivel organizacional o de gestión. Ninguna de las instituciones entrevistadas se han ocupado en identificar ni contabilizar tipos y cantidad de fuentes de contaminación lumínica; en el mejor de los casos como el MOPT y el Ministerio de Salud, saben que los rótulos luminosos pueden estar perjudicando de alguna manera el confort visual de quienes transitan las vías, pero no se cuenta con una caracterización detallada del problema. Todo esto como parte de una gran característica general en torno al tema, su novedad y dificultad de percibir.

Cuadro 11. Percepción sobre la contaminación lumínica por parte de la ARESEP y entes rectores que conforman la unidad de análisis, Parte 2.

Institución	Principales consideraciones respecto al tema desde su gestión	Actores sociales deben ser considerados en la articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL	¿Es necesaria la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL?
Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos	Señalan que la contaminación lumínica debería incluirse desde la perspectiva de la calidad de la iluminación. Actualmente se trabaja en una norma de ALPU.	MINAE, MINSA, Empresas Eléctricas y Municipalidades.	Sí

Ministerio de Salud	Dependiendo de cómo se plantee y exponga lo puede liderar el MINSA, el cual ejecuta una serie de talleres y mesas de trabajo donde se termina de identificar las instituciones que se considera que son competentes al tema.	Academia, asociaciones comunales, agencias/organizaciones que protegen al consumidor.	Sí
Instituto de Fomento y Asesoría Municipal	Es un tema desconocido, pendiente de regulación.	Departamentos de Gestión Ambiental y Planificación Urbana de las municipalidades, DIGECA y el MINAE	Sí
Secretaría de Planificación Subsectorial de Energía de Costa Rica	Es un tema de importancia nacional, que puede ser vinculado desde la Eficiencia Energética.	MINAE, ARESEP, Prestatarios del servicio y proveedores de iluminación.	Sí

Sistema Nacional de Áreas de Conservación	<p>Aparte del ALPU, en las áreas protegidas, se también se intenta regular el uso de lámparas, focos e incluso se exige a los vehículos que lleven las luces bajas cuando entran a un parque.</p> <p>Se trata de promover algunas consideraciones dentro de las municipalidades cuando dan los permisos de construcción o al MOPT cuando está construyendo carreteras (por ejemplo hacía donde se debe proyectar la luz).</p>	Sector Turismo, las comunidades locales, las que están dentro y en la periferia de áreas protegidas, Sector comercio, Municipalidades.	Sí
Ministerio de Obras Públicas y Transportes	Las consideraciones deberían darse a nivel de gobierno.	MOPT, MINAE, SETENA, SINAC, MINSA, Colegio de Ingenieros Federados (CFIA), Lanamme UCR, Academia, Empresa privadas que ofrecen las tecnologías.	Sí
Laboratorio Eficiencia Energética	<p>Se está apostando por una iluminación visualmente más comfortable (4000 - 4500 K).</p> <p>Puesta en marcha de la directriz interna para el cambio de luminarias a LED Ámbar en las zonas costeras.</p>	SINAC, MINAE, Prestatarios del Servicio, Academia.	Sí

**Dirección de
Gestión de
Calidad
Ambiental**

Considera que existen directrices como la Directriz 11, que contempla una de las aristas de la CL, la eficiencia energética.

El MINAE debe ser considerado en la articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL, y en términos de competencia, la Dirección de Energía debería liderar el proceso, sin embargo para la formulación de cada directriz el proceso puede ser diferente, ya que se involucra a la academia, a los colegios profesionales, personas específicas que por su experticia puedan aportar técnicamente al desarrollo de nuevas normativas.

Sí

Como se expone en el cuadro anterior, la contaminación lumínica es un tema pendiente de ser incluido dentro de las gestiones públicas del país. Por la naturaleza compleja propia de la problemática, todos los entes entrevistados concuerdan que su atención requiere de una coordinación interinstitucional e intersectorial, pues sin el involucramiento de todos los sectores y la concienciación ciudadana su control se dificulta.

Seis de las ocho instituciones consultadas hacen énfasis en la intervención por parte del MINAE para articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL, por el rol que debe desempeñar con relación a la calidad ambiental, conservación, uso racional de la energía.

Desde otra perspectiva, la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental, la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos y la Secretaría de Planificación Subsectorial de Energía de Costa Rica coinciden que es un tema vinculado desde la calidad de iluminación y eficiencia energética, temas en los cuales se ha enfocado el país a través del Plan Nacional de Energía 2015-2030.

Todos los sectores implicados en la investigación expresan que existe un muy bajo nivel de coordinación y articulación intersectorial capaz de llevar de una forma más integral y con menos inconvenientes los proyectos de desarrollo urbanístico, incluyendo aquellos implicados en la ampliación o modificación de la distribución eléctrica y el ALPU, considerándose esto como el principal reto para corregir la falta de planificación urbana y atender un problemática como la CL.

4.3.2. Nivel operativo

Costa Rica cuenta con una excelente cobertura eléctrica que alcanza el 99.4% a julio del 2017, la cual es servida por ocho empresas distribuidoras: el ICE, la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), subsidiaria del ICE, dos empresas municipales, ESPH y JASEC, las cuales atienden el centro del país y cuatro cooperativas de electrificación rural, COOPEGUANACASTE, COOPELESCA, CoopeAlfaroRuiz y CoopeSantos, tal y como se observa en el cuadro 12.

Cuadro 12. Índice de Cobertura Eléctrica según Empresa Distribuidora a Julio 2017.

Empresa Distribuidora	Área (km²)	Población atendida	Índice Cobertura Eléctrica
ICE	38, 715	2,012,253	98.69%
CNFL	885	1,553,234	100.00%
ESPH	104	154,212	100.00%
JASEC	1,103	307,859	100.00%
COOPEGUANACASTE	3,915	101,946	99.63%
COOPELESCA	4,851	194,311	99.63%
COOPESANTOS	1,275	95,011	99.70%
COOPEALFARORUIZ	252	14,586	100.00%
DISTRITOS COMPARTIDOS	6,317	514,069	99.66%
COSTA RICA	51,100	4,947,481	99.39%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos ICE 2017.

Como se demuestra en el cuadro anterior, el ICE y la CNFL son los prestatarios con un mayor número de usuarios del servicio eléctrico, pues por su parte la CNFL atiende zonas del país sumamente densas en términos poblacionales, al igual que el ICE, pero este último brinda cobertura en la mayor parte del país, con presencia en las siete provincias.

Debido a la casi total cobertura eléctrica del país, en cualquier parte del territorio nacional es posible la instalación de luminarias para brindar el servicio de alumbrado público, pues forma parte de las fases de distribución y comercialización del mercado eléctrico nacional (Loría y Martínez 2016). Como se observa en el Cuadro 13, el parque de alumbrado público del país, a febrero de 2017 estaba constituido por un total de 387850 puntos de luz, de los cuales el ICE administra la mayor parte, con un 50.9% del total, que equivalen a

197440 puntos de luz en su área de cobertura, seguido por la CNFL con 99113 puntos de luz.

Cuadro 13. Cantidad de luminarias instaladas y porcentaje de participación por empresa distribuidora a Julio 2017.

Empresa distribuidora	Cantidad de luminaria instaladas	Porcentaje de administración del servicio de ALPU
ICE	197440	50,9%
CNFL	99133	25,6%
COOPELESCA	29747	7,7%
JASEC	18211	4,7%
COOPEGUANACASTE	18178	4,7%
ESPH	14328	3,7%
COOPESANTOS	9357	2,4%
COOPEALFARORUIZ	1456	0,4%
Total general	387850	100,1%

Fuente: Entrevistas personales con encargados del ALPU

Esta cobertura eléctrica y la base institucional que sirve el servicio a nivel país, le permite al parque de alumbrado público un proceso de constante renovación, pues de acuerdo con el Plan Operativo Anual del ICE para el año 2017, una de las metas contempladas fue instalar 57 632 nuevas luminarias de alumbrado público en el período 2015/2018, y solo para el año 2017 se fijó la meta de instalar 11 562 nuevas luminarias, meta superada gracias al aporte de las diferentes empresas eléctricas participes en el desarrollo y construcción de nuevas luminarias de alumbrado público en todo el territorio nacional. Se logra el aporte total de 20 634 luminarias durante el año, lo cual representa un avance del 178% de la meta anual.

En esta dinámica de renovación, sustitución y ampliación del parque de alumbrado público en el país, era necesario conocer la percepción de la problemática de la CL por parte de los prestatarios. Para ello se diseñó y aplicó una entrevista, en la cual se encontraron diferentes posturas frente al uso de la luz y su posible relación con la CL, tal y como se observa en el siguiente cuadro 14.

Cuadro 14. Percepción sobre la contaminación lumínica por parte de los prestatarios del servicio de ALPU, Parte 1.

Prestatario del Servicio de alumbrado público	Cuenta con una definición de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos y gestiones	¿Se han identificado fuentes de CL?	Identificación de efectos	Percepción de la problemática a nivel nacional
COOPEALFARORUIZ	No	No	No se han identificado.	Temática pendiente de abordar.
CoopeGuanacaste	No	Las luminarias antiguas de tecnologías de Sodio, y luminarias con longitudes de onda que afectan a las tortugas marinas.	Las luminarias antiguas de Sodio, generan dispersión de la iluminación, y representan un alto consumo de energía eléctrica. Afectación de tortugas marinas.	Diseño de ALPU es muy difícil de trabajar en el país, ya que las luminarias de ALPU, están instaladas en los postes empleados para distribución eléctrica, los cuales no son colocados en las vías en función de los requisitos de diseño para una iluminación eficiente.

COOPELESCA

No

Las luminarias antiguas de tecnologías de Sodio y fuera de la organización existen puntos de iluminación que contribuyen a la CL tales como la iluminación de estadios y la iluminación privada.

El único efecto que se ha identificado es el de “mancha amarilla” o sky glow.

Temática pendiente de abordar, la CL debe verse como energía que se desperdicia.

ICE

Sí

Se ha estudiado el ALPU, las luces de las viviendas y comercio como fuentes de CL en la zona de Tortuguero.

Efectos sobre las tortugas marinas

En Costa Rica aún no se percibe como una problemática, existe un desconocimiento casi total acerca del tema.

Fue gracias al aporte de las investigaciones realizadas por la Caribbean Conservation Corporation, se pudo acceder a información científica que demuestran los impactos negativos de la luz artificial en la ecología de las tortugas marinas, y de esta forma justificar la puesta en marcha de proyectos para un servicio de ALPU que no impacte negativamente a las tortugas marinas.

JASEC	No	No	A nivel técnico no se han identificado efectos, e históricamente solo se ha Registrado un caso por intromisión lumínica.	No se percibe como problema en términos de servicio.
CNFL	No, pero si se conoce sobre la problemática.	Sí, pero principalmente fuentes externas al ALPU, como las pantallas y vallas publicitarias.	Distracción en carreteras. Cambio de comportamiento en aves. Efectos en las tortugas marinas.	Temática pendiente de abordar, debería existir una norma que incluya la CL.
COOPESANTOS	No	Pantallas y vallas publicitarias, iluminación de parques y la iluminación festiva ocasional.	Derroche energético.	Problemática poco conocida. Incluso tienen desconocimiento si a nivel nacional otros prestatarios están trabajando esta temática.
ESPH	Sí	Principalmente las pantallas y vallas publicitaria. En ESPH se genera CL por el ALPU antiguo.	Intromisión lumínica, brillo en el cielo, deslumbramiento, derroche energético. Afectación de ecosistemas.	La tendencia de Ambiente y energía, a nivel gobierno, generó un área técnica para el ALPU que lo que busca es hacer más eficiente la iluminación pública (la CONACE). Pero todo se ha hablado en torno a eficiencia energética, no contaminación lumínica.

Únicamente dos empresas cuentan con una definición de CL. La ESPH en su reglamento de construcción y diseño para alumbrado, debido al acercamiento que han tenido con el tema a partir del 2015 donde se vinculó la práctica profesional supervisada titulado “Propuesta de guía técnica para la gestión del alumbrado público en función de la prevención de la contaminación lumínica en la ESPH S.A.” y el ICE, en su Área Socio Ambiental del Negocio de Distribución y Comercialización a partir de los estudios sobre la afectación de la luz en tortugas marinas iniciados en el 2004, pero este concepto no es necesariamente adoptado en el resto de la organización. Esto marca una pauta en la comprensión de la CL en Costa Rica como poco percibida y comprendida, siendo esto una posible agresión ambiental.

En relación a lo anteriormente expuesto, la mayoría de instituciones y empresas prestatarias del servicio no asocian el ALPU como una de las principales causas de CL, dando más importancia a fuentes como las pantallas y vallas publicitarias. No obstante, se considera a las antiguas tecnologías de iluminación poseedoras de características luminotécnicas que podrían producir CL, relacionando el derroche energético generado como principal manifestación de esta, a causa de la falta de estudios en el país respecto a los efectos de la luz en los ecosistemas y su relación con la salud pública.

En contraste, el cambio tecnológico a LED más bien se concibe como una solución inmediata a la problemática (ver cuadro 15), además, refuerza la seguridad ciudadana y mejora la visibilidad por sus altos índices de reproducción del color. A excepción de CoopeGuanacaste, el ICE y la ESPH por la vinculación que han tenido con estudios sobre los efectos de la luz en ecosistemas.

Cuadro 15. Percepción sobre la contaminación lumínica por parte de los prestatarios del servicio de ALPU, Parte 2.

Institución	¿Cómo se puede evitar o minimizar la CL?	¿Qué avances o medidas tiene la empresa sobre el tema?	¿Es necesaria la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL?
COOPEALFARORUIZ	Implementación de lámparas LED que eviten la dispersión de luz alrededor de la luminaria.	Ninguna	Sí
COOPEGUANACASTE R.L.	Cambiando a tecnologías más eficientes. Empleando LED AMBAR en áreas costeras y alejando la línea de electrificación de la playa.	Desde 2015 se encuentra en ejecución el proyecto de sustitución de tecnologías de sodio a tecnología LED, se especifica a los oferentes que deben garantizar cumplir con normativas internacionales sobre iluminación de carreteras y con otros criterios técnicos como Índice de Reproducción de Color (IRC), curvas fotométrica adecuada, cobertura de iluminación, y que no emita luz por encima de la horizontal.	Sí
COOPELESCA	Implementación de LEDS, dirigiendo la luz a los lugares correctos.	Implementación de LEDS.	Sí

ICE	Emplear en áreas costeras luminarias con longitudes de onda por debajo del espectro visible detectado por las tortugas.	<p>Proyecto piloto –LEDS ámbar- en Tortuguero.</p> <p>Para el segundo semestre del 2018, se tiene previsto el cambio de luminarias a LED ámbar en el área costera de Tortuguero. Se planea también un trabajo en conjunto con el Instituto Costarricense de Turismo y la población residente, porque la afectación a las tortugas marinas persiste incluso con el cambio del ALPU, debido a iluminación por parte de viviendas, hoteles y comercio.</p>	Sí
JASEC	Sustitución de luminarias a tecnología LED.	Mediante las licitaciones, garantizar un 0% de luz emitida sobre la horizontal.	Desde el punto de vista empresarial no se percibe como necesario. La única experiencia fue vinculada con los productores de hortalizas, quienes pintaban los difusores de las luminarias, ya que a criterio de los mismos, la luz afecta sus cultivos.

CNFL	<p>Involucrar a la academia para la generación de estudios.</p> <p>Acatar normas internacionales.</p>	<p>Antes de la ejecución de cualquier proyecto luminotécnico se tramita un permiso ambiental ante la SETENA.</p>	Sí
COOPESANTOS	<p>Mejorar los procesos de valoración de ofertas de mercado.</p>	<p>Cambio tecnológico a LED</p>	Sí
ESPH	<p>Hay que manejar con cuidado el tema de la CL, no se debería solo pensar en la el ahorro/eficiencia energética sin considerar las temperaturas de color adecuadas.</p>	<p>Antes usaban temperaturas de 5000 K o más, pero los estudios a los que han recurrido indican que lo idóneo es instalar luminarias con temperaturas de 2000 K a mucho 4000 K. La empresa va ir tomando todas las recomendaciones internacionales.</p> <p>Además la empresa ahora cuenta con un laboratorio donde pueden medir muchos de los parámetros y criterios de iluminación.</p> <p>Por otra parte, se generó un manual de construcción y diseño de ALPU, donde están todas las definiciones referentes al ALPU y recomendaciones para disminuir la afectación por CL (consideraciones a la hora de instalar la luminaria).</p>	Sí

Por una parte, respecto a la vinculación con la población para evitar la CL, siete de las ocho empresas encargadas de brindar el servicio creen necesaria la creación e implementación de estrategias de información y educación sobre el tema, principalmente por la resistencia de la población usuaria al cambio tecnológico, pues este implica la focalización de la iluminación a solo el espacio público, en contraste de las antiguas tecnologías de sodio, las cuales iluminan los patios e incluso interiores de las residencias (intrusión lumínica), e indican que este fenómeno es visto positivamente por gran parte de la población usuaria pues les permite un mejor desplazamiento durante la noche dentro de sus viviendas y generan sensación de seguridad.

Por otra parte, para el alcance de un efectivo control de la CL, no basta solo con adecuar el servicio de alumbrado público. Por esta razón, las empresas distribuidoras consideran indispensable el trabajo articulado con los sectores de vivienda, comercio, industria y hotelero, de forma que progresivamente estos también se ajusten a los criterios luminotécnicos recomendados para prevenir la CL.

Finalmente, al consultar sobre la CL desde un punto de vista nacional, todos concuerdan en que es un tema pendiente de abordar y se desconoce tanto sus principales características como las medidas mínimas para evitarla. Incluso aún no se percibe como problema en términos de servicio; por lo tanto, en primera instancia es necesario generar una reglamentación con el propósito de brindar el servicio de ALPU sin CL.

La segunda parte de la entrevista fue diseñada con el fin de obtener un panorama de las empresas distribuidoras en cuanto a sus capacidades técnicas e institucionales en torno a la posible adopción de una propuesta para la prevención y control de la contaminación. Los principales resultados se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 16. Resultados sobre la base técnica e institucional.

Prestatario del Servicio de ALPU	¿Cuenta la empresa con el Plan de ALPU Eficiente?	¿Cuenta con un departamento especializado que se encargue del diseño, instalación, y mantenimiento del ALPU?	¿Cuenta con personal capacitado, equipo y maquinaria especializada para asumir proyectos y/o normativas para la prevención de la CL?	¿Cuáles considera que serían las medidas institucionales prioritarias para lograr una gestión sin CL?
COOPEALFARORUIZ	No	No, el Departamento de Ingeniería Eléctrica lo asume.	NO cuenta con equipo y maquinaria especializada. En cuanto al equipo, se podría capacitar para asumir este tipo de propuestas.	Informarse, capacitarse y equiparse.
COOPEGUANACASTE.	No, se cuenta con un proyecto de sustitución a tecnologías eficientes.	No, el Departamento de Mantenimiento vela por su adecuado funcionamiento.	Sí se cuenta con personal capacitado, pero falta equipo tecnológico para hacer estudios de campo luminotécnico.	Mediante la estandarización del ALPU a través del CONACE y MINAE.
COOPELESCA	No, en el 2015 se sustituyó todo el parque de alumbrado a LED.	Se encuentra en el departamento de Operación y mantenimiento. Existen unidades operativas dedicadas a la instalación y mantenimiento del ALPU.	Sí	Vender la idea de la CL e incluirla dentro de los objetivos de la cooperativa.

ICE	Sí, un plan de renovación del parque de ALPU, migrando a tecnologías LED.	Unidad de Negocio Distribución y comercialización.	Sí	Considerar las tendencias internacionales sobre iluminación.
JASEC	No	Si cuenta un departamento especializado en ALPU, pero para grandes proyectos se subcontratan otras empresas de servicios.	Sí	Planes de Energía, dentro de un marco regulatorio nacional.
CNFL	No, en el 2016 se emitió una política de empresa sobre la renovación de luminarias a LED.	Sí	Sí	Voluntad política. Adopción de normativas internacionales.
COOPESANTOS	Proyecto de iluminación LED	No, ALPU entra como una tarea más para las gestiones que contemplan los departamentos de planificación y distribución.	Sí	Adopción de reglamentos y normativas para la prevención de la CL, debe ser tutelado por la ARESEP y este debe definir bajo cuales lineamientos debe prestarse el servicio de ALPU.

ESPH

Sí, plan de renovación del parque de ALPU ante la CONACE.

Sí

Sí

Actualmente la ESPH ha tomado diferentes medidas para evitar o disminuir la CL, por ejemplo, el uso de solo luminarias de tecnología LED en temperaturas de color adecuadas. Así como la adquisición de equipos que permitan realizar una mayor evaluación en cuanto a CL.

Al consultar sobre el diseño y puesta en marcha de los Planes de Alumbrado Público Eficiente, de acuerdo con las metas planteadas en el PNE 2015-2030, solo dos de las ocho empresas afirmaron contar con este plan, el cual en términos generales consiste en sustituir las luminarias antiguas instaladas por equipo certificado Energéticamente Eficiente y de tecnología LED. Para el resto de prestatarios, un plan de alumbrado público eficiente sigue siendo un tema pendiente a nivel de CONACE, mesa de diálogo donde se han planteado algunas líneas de trabajo para conseguirlo, pero hasta la fecha no se ha definido una estrategia de trabajo clara, consolidada y consensuada; por lo tanto, para efectos de cumplir en alguna medida las metas propuestas en el PNE, todas cuentan con un informe de cómo se encuentran constituidos sus parques de ALPU, junto con una proyección de cómo se irá renovando y migrando a tecnologías LED, asumiendo que esta medida es el primer paso para lograr sus Planes de Alumbrado Público eficiente.

Cabe resaltar la capacidad técnica de los prestatarios del servicio, la cual permitiría la investigación, implementación y fiscalización de medidas técnicas para la prevención de la CL, pues cuatro de ellos cuentan con un departamento exclusivo para atender el servicio. En el caso de CoopeSantos, COOPELESCA, CoopeGuanacaste y CoopeAlfaroRuiz (sin un departamento específico), poseen una figura administrativa e ingenieril, quien a la postre podría dirigir la implementación de proyectos mediante subcontratación. Además, como parte del ICE, se encuentra el Laboratorio de Eficiencia Energética, dotado con una de las mejores infraestructuras de la región, que en este caso permite comprobar las características técnicas de las luminarias y lámparas para determinar su inocuidad desde el punto de vista luminotécnico.

De esta forma, los prestatarios concuerdan con que la medida institucional prioritaria para lograr una gestión sin CL es la estandarización o normalización del servicio a nivel nacional, contemplando todas las recomendaciones internacionales, mediante el trabajo interinstitucional.

4.3.3. Nivel tecnológico

Tecnologías que conforman del parque de ALPU del país

Hasta febrero de 2017, de acuerdo con la base de datos suministrada por la ARESEP, el parque de ALPU del país se encuentra conformado por los 7 tipos de tecnologías que se muestran en la figura 7, donde se puede observar el tipo de lámpara más utilizado: el de Vapor de Sodio de Alta Presión con 87% del total del parque, seguido por las nuevas tecnologías de tipo LED con un 12.23%.

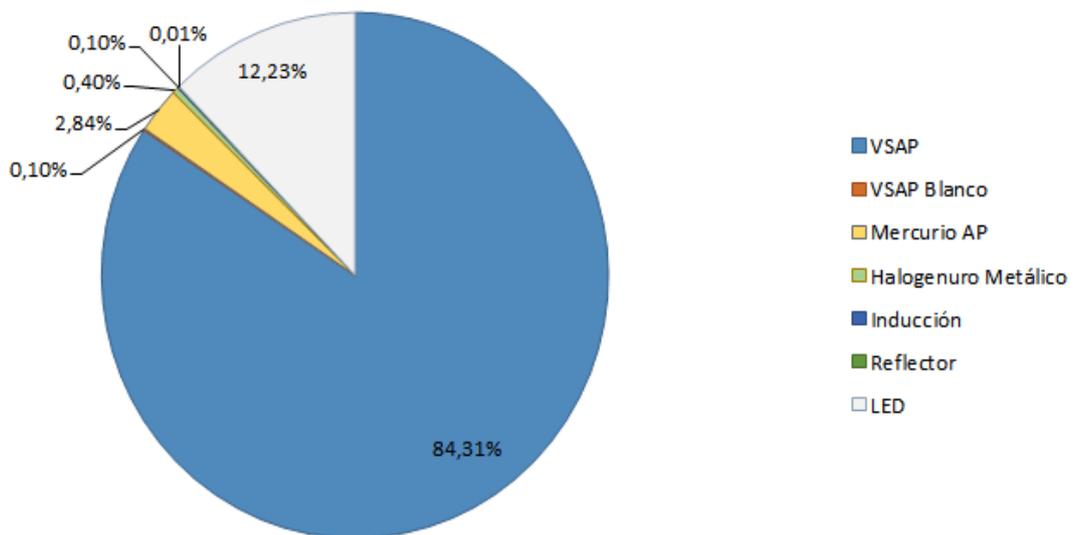


Figura 7. Conformación del parque de ALPU a febrero de 2017. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la ARESEP 2017.

El parque de ALPU cuenta con un total de potencia instalada de 49.033,10 Kw, en el cual las luminarias de tecnología VSPA representan la mayor fracción con 42020 KW. Todos los demás tipos de tecnologías comprenden una minoría de la potencia instalada, pero permiten dimensionar la meta que se establecen en los planes de sustitución de tecnologías por cada empresa prestataria del servicio.

Cuadro 17. Cantidad de luminarias del parque de ALPU según tecnología y potencia.

Tecnología	Cantidad de luminarias	Potencia instalada (KW)
VSPA	326546	42020
VSPA Blanco	382	61,7
Mercurio AP	11014	3605,4
Halogenuro Metálico	1553	279,2
Inducción	404	80,2
Reflector	37	14,8
LED	47371	2972,5
Total	387307	49.033,10

Fuente: ARESEP 2017.

Transición tecnológica

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo con los prestatarios del servicio de ALPU del país, sus planes en el corto plazo contemplan la sustitución completa de las luminarias que no sean de la tecnología LED, como se muestra en el cuadro 18. Solamente CoopeSantos y COOPELESCA están muy cerca de lograr la renovación total de sus parques de alumbrado público, entonces todas las luminarias LED instaladas en el país apenas representan un 12% del total para febrero de 2017.

Por su parte, el ICE y la CNFL presentan el menor avance en cuanto a la sustitución de luminarias ineficientes, sin embargo, pues operan los dos parques de alumbrado público más grandes del país y, en consecuencia, requieren muchísimo mayor ejecución de recursos. A su vez, la renovación también obedece a la vida útil de luminarias que están instaladas.

Cuadro 18. Total de luminaria instaladas vs porcentaje instalado de LEDS.

Empresa Distribuidora	Parque de Luminarias	Cantidad de LEDS instalados	Porcentaje instalado Alumbrado LED
ICE	197.440,00	517,00	0,3%
CNFL	99.133,00	2.415,00	2,4%
COOPELESCA	29.747,00	28.078,00	94,4%
JASEC	18.211,00	1.264,00	6,9%
COOPEGUANACASTE	18.178,00	6.263,00	34,5%
ESPH	14.328,00	179,00	1,2%
COOPESANTOS	9.357,00	8.461,00	90,4%
COOPEALFARORUIZ	1.456,00	194,00	13,3%
Total	387.850,00	47.371,00	12,2%

De acuerdo con ICE (2018), en su informe de evaluación del Plan Operativo Institucional para el años 2017, hubo un cambio importante en la composición del parque de alumbrado público, que no fue posible contemplar en la figura 7, pues como parte de las metas del PNE 2015-20130, para el año 2017 el ICE y las demás empresas eléctricas han participado en el desarrollo y construcción de nuevas luminarias de alumbrado público en todo el territorio nacional, con un aporte total de 20 634 luminarias durante el año, de las cuales no se contó con el detalle por tipo de luminaria, potencia o bien, si fueron por sustitución o nuevos puntos de luz. Los aportes de cada empresa eléctrica para el año 2017 se observa en el cuadro 19:

Cuadro 19. Instalación de luminarias por empresa eléctrica para el año 2017.

Ejecutor	Cantidad de nuevas luminarias instaladas
ICE + aporte de privados	17105
CNFL	339
JASEC	550
ESPH	180
COOPEGUANACASTE	734
COOPEALFARORUIZ	30
COOPELESCA	804
COOPESANTOS	892
Total	20634

A partir de la investigación realizada como parte de los objetivos de esta tesis, sobre las medidas mínimas que se pueden adoptar para la minimización de la CL en la prestación del servicio de alumbrado público, se incluyeron en el instrumento de diagnóstico de los parques de alumbrado público una serie de preguntas con el fin de obtener una evaluación preliminar sobre la operación de las empresas eléctricas frente a 3 criterios puntuales de gran impacto en la prevención de la CL. Los resultados se observan en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Evaluación de las medidas mínimas para la minimización de la CL aplicadas por los prestatarios del servicio de ALPU.

Empresa distribuidora	Ángulos de instalación	Zonificación implementada	Temperatura de color LED
COOPEALFARORUIZ	No se maneja un ángulo específico. Se utiliza el que ofrece el brazo de la luminaria y según sean las necesidades	No se ha establecido ningún tipo de zonificación.	4000K

COOPEGUANACASTE	0 grados	LED Ámbar, en zonas de desove de tortugas. 54 W en centros de población. 108W en carreteras amplias, carretera nacional. 160W en cruces de calle importantes.	En zonas de desove de tortugas: LED Ambar El resto de carreteras, temperaturas equivalentes a luz blanca.
COOPELESCA	No brindó información	No brindó información	5700K
ICE	Por lo general se instalan a 0 grados.	Iluminación costera	4000 k
JASEC	Horizontal a la carretera	Potencia alta en carreteras de alto tránsito	Rango 4000k y 5700k
CNFL	0 grados.	Calles anchas: Potencia 250W Sodio, o 163W en LED. Cruces de autopistas: sodio metálico de 400W Calles de 2 carriles: 150W VSAP o LED 83 W hasta 120W. Parques: Tipo ornamental	4000k
COOPESANTOS	No se maneja un ángulo específico, se adecua según las necesidades del relieve.	No, se adecua según las necesidades.	4,000 K
ESPH	0 a 5 grados	Las luminarias de mayor potencia son utilizadas para carreteras de acceso principal a la ciudad y las de menor en las demás áreas donde se brinda el servicio, también todo depende de las condiciones del área a iluminar.	Las primeras LEDS que se instalaron son de 5700K, las últimas compras de 4000K en LED, pero la empresa va ir tomando todas las recomendaciones internacionales.

Esta evaluación del Cuadro 20 refleja la posibilidad encontrar en campo distintos ángulos de instalación de las luminarias, aunque los encargados consultados declaran que usualmente se instala a 0 grados respecto a la calzada, se permite una variación de hasta 5 grados por encima de la horizontal.

Además, en cuanto a la zonificación se evidencia que el criterio es aplicado solamente en términos de requerimientos de potencia en función de los puntos altamente transitados, pero no por condiciones de fragilidad ambiental ante la luz artificial.

Las temperaturas de color no son relacionadas a la prevención de la CL (lo mismo sucede con el criterio de zonificación), sino más bien prima un criterio estético ligado a la tendencia de contar con fuentes de luz con altos IRC, por lo que las temperaturas de color frías por encima de los 4000 K están siendo empleadas de manera generalizada.

Disponibilidad tecnológica en Costa Rica

De acuerdo con Ollé (2016), actualmente nos encontramos en un momento importante sobre la investigación, diseño e implementación de nuevas tecnologías de iluminación, a tal punto que algunos tipos de fuentes de luz están siendo limitadas mediante prohibición o sustitución por fuentes de luz más eficaces, con la capacidad de ofrecer distintas ventajas en su aplicación, como el caso de las luminarias con tecnología LED sobre aquellas bombillas incandescentes o las de vapor de mercurio, consideradas desde el punto de vista energético, obsoletas.

Este mejoramiento continuo posee un avance vertiginoso, y conforme se da su aplicación, van apareciendo nuevas y más actualizaciones que permiten lograr proyectos luminotécnicos cada vez más eficaces; sin embargo, estos avances tendrán un límite, y muchas veces no solo depende de los avances tecnológicos, sino también de la buena aplicación de las tecnologías. En términos prácticos, esto se traduce en buenos diseños luminotécnicos, capacidad de disposición de infraestructura para el soporte de los diseños, levantamiento de estudios basados en fotometrías reales, de acuerdo con las luminarias por emplear (Ollé 2016).

Según lo conversado con diferentes actores sociales involucrados (específicamente con Alejandro Bonilla, representante de la empresa distribuidora de tecnologías de iluminación Ecological), en el país no hay limitante tecnológica para la implementación de la propuesta diseñada, pues existe presencia de varias empresas que diseñan, producen y comercializan luminarias para alumbrado público, ya sea directamente o mediante representación comercial de otra empresa distribuidora. Estas empresas ofrecen sus tecnologías bajo los últimos estándares internacionales de iluminación, sin embargo, las empresas prestatarias son quienes disponen del tipo y características de las luminarias a emplear en el parque de alumbrado público del país, mediante los procesos licitatorios. Muchas veces la aplicación de diseños luminotécnicos se ve afectada por aspectos tales como la planificación urbana, limitaciones en la disponibilidad de posteraía tanto en el aspecto de altura como de distancia interpostal.

Entre las empresas que operan en el país (algunas incluso ya mantienen relaciones comerciales con las distintas empresas prestatarias del servicio de ALPU) se pueden mencionar: CENTROCEL INC, Energys, Ecological (Distribuidor de la marca CREE), Nimalux LED lighting, Roy Alpha, General Electric, Phillips, Hubbell Lighting, Scheder, CELSA, Sylvania, Cooper, American Electric, IDS Iluminación (distribuidor de la marca ATP).

Cada una de estas, como se puede comprobar mediante sus catálogos de productos, ofrecen una amplia gama de soluciones luminotécnicas, las cuales facilitan la aplicación de las medidas necesarias para evitar y minimizar la CL por alumbrado exterior; incluso algunas de ellas, como el caso de CREE, ofrecen luminarias con certificaciones voluntarias como la International Dark Sky, quien cataloga productos amigables con cielos oscuros, es decir, no generan brillo en el cielo, deslumbramiento y con mínima emisión de longitudes de onda corta por debajo de los 500 nm (IDA 2018).

4.4. Validación de la propuesta del eje ambiental para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público.

El día 30 de agosto de 2018 se realizó una mesa de discusión (ver anexo 11), se invitó a representantes y expertos de diversos sectores con el objetivo de validar la propuesta y analizar su congruencia y viabilidad a partir de la revisión detallada de aspectos de forma y fondo, la identificación de oportunidades y supuestos que podrían dificultar su implementación.

Se contó con la participación de tres expertos de tres distintos sectores: municipal, empresa prestataria y empresa proveedora de las tecnologías en iluminación. Los principales señalamientos fueron:

- Para la efectiva aplicación de la propuesta, además del involucramiento directo de los actores sociales propuestos, es necesario asegurar una participación no jerarquizada, de carácter horizontal, en donde la responsabilidad de gestión sea compartida y consensuada, con aportes desde cada institución, como se explica en la siguiente sección que contempla propuesta.
- Las municipalidades, además del papel propuesto como fiscalizadores, son quienes se podrían encargar de realizar la zonificación, pues son estas quienes conocen a detalle sus territorios. En un principio se había otorgado esta función a los departamentos de gestión ambiental de las empresas prestatarias del servicio de ALPU, pero se identificó la necesidad de mancomunar esfuerzos con los planes de ordenamiento territorial de cada municipalidad.
- La tecnología no es una limitante para la puesta en marcha de la propuesta, hay suficiente oferta de insumos en el mercado que lo permite.
- Las estrategias de información, comunicación y educación son fundamentales entre usuarios y prestatarios del servicio. Así, desde un inicio se comprenderán los beneficios que conlleva la reestructuración de la iluminación de espacios públicos.

El proceso de validación también implicó consultas individuales a los lectores y tutor del trabajo de investigación por su experticia en el tema.

De acuerdo con recomendaciones realizadas por Ing. Víctor Valverde como representante de la ARESEP, se identificaron dos posibles vías para que la propuesta contemple los

aspectos de forma requeridos por los entes pertinentes y de esta manera la propuesta cuenta con mayor viabilidad.

- Por iniciativa municipal con conocimiento de causa, que se establezca como requisito contemplar el eje ambiental para el uso sustentable de la luz, en los contratos marco entre municipalidades y prestatarios para la concesión del servicio de ALPU.
- Por iniciativa de las empresas eléctricas, de forma que promuevan un uso responsable y prevengase prevenga la contaminación lumínica, mediante la cooperación entre municipalidades e instituciones como la ARESEP, MINAE, SINAC.

El Ing. Steven Sánchez, representante de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, acotó que la telegestión sugerida debe manejarse bajo los términos de las nuevas tecnologías de redes inteligentes de iluminación, porque la propuesta no solo engloba el hacer gestión desde un centro de control y la dimerización (nivelación de intensidades de luz), también proponen sensores de movimiento y velocidad.

4.5. Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en el servicio de alumbrado público

A partir del diagnóstico elaborado en el proceso de investigación, se logró conceptualizar una propuesta de normativa que permite definir el eje ambiental para un uso sustentable de la luz en el servicio de alumbrado público. Este tema requiere mayor atención en la gestión de los prestatarios y posiciona la propuesta como un tema innovador y necesario, dirigido a limitar los posibles impactos negativos implicados en una iluminación no regulada.

Objetivo: Limitar los efectos negativos de la posible contaminación lumínica producida en la prestación del servicio de alumbrado público.

Alcance: La propuesta es aplicable en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica, pero sus principios pueden ser puestos en práctica para proyectos luminotécnicos de diversos fines.

Actores involucrados: Para la aplicación integral de esta propuesta, es indispensable la articulación positiva, principalmente entre la ARESEP, municipalidades y prestatarios del

servicio de alumbrado público como se observa en la figura 8, y de manera complementaria con instituciones como MINAE, SINAC y MINSA.

Las municipalidades juegan un rol vital, pues son las responsables directas del desarrollo de sus territorios y está en sus facultades velar porque se implementen las alternativas que garanticen su desarrollo sostenible. La ARESEP, como ente regulador del servicio, tiene la capacidad de dotar al servicio mediante una estructura tarifaria integral de los criterios de calidad y protección ambiental.

Este último aspecto bajo la tutela de los prestatarios del servicio, pues son quienes deben contemplar mediante estudios de impacto ambiental, todas aquellas agresiones ecológicas y de salud pública que pueda acarrear el uso de luz artificial en ambientes nocturnos, siendo la aplicación de los aspectos técnicos propuestos, la línea bases para su comprensión y adecuación del servicio.

En este sentido, lo referente al resguardo de la salud pública por posibles afectaciones del alumbrado público, el Ministerio de Salud podría iniciar la generación de estudios que determinen en qué grado se afecta o podría afectarse los ambientes de descanso humano, y de esta manera se justifique aún más el diseño de normativas con el fin de subsanar los vacíos técnicos.

En cuanto al proceso de normalización del servicio de alumbrado público, el rol del MINAE representa una oportunidad para incorporar las medidas necesarias para garantizar un servicio de alumbrado público sustentable, respetuoso con los hábitats nocturnos y procure el uso de luz artificial inocua para el equilibrio ecológico de los ambientes nocturnos más sensibles. En este sentido, la participación del SINAC -mediante su Oficina Asesora en Infraestructura Física (OAIF)- facilita la adopción de las medidas pertinentes para resguardar las áreas silvestres protegidas, además de incluir el tema de la contaminación lumínica y la iluminación eficiente, como parte del trabajo de educación ambiental brindado a la población y el sector turismo/comercio ubicados en las áreas periféricas a los hábitats con alto valor biológico.

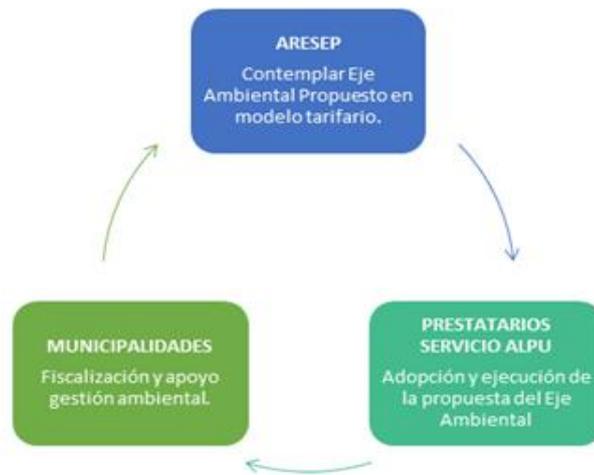


Figura 8. Dinámica interinstitucional propuesta. Fuente: Elaboración propia.

Estructura: la propuesta se basa en los seis principales consensos interdisciplinarios sobre las buenas prácticas en ingeniería de alumbrado:

Principio 1. Iluminar aquello que realmente lo necesita.

Principio 2. Iluminar en los intervalos temporales en los que es realmente necesario.

Principio 3. Evitar la emisión de flujo luminoso por encima de la horizontal.

Principio 4. Evitar la intrusión lumínica (emisión de flujo luminoso hacia áreas diferentes de la que se necesita iluminar).

Principio 5. Emplear niveles de iluminación ajustados a las necesidades del uso.

Principio 6. Emplear luz con las características espectrales adecuadas para el uso previsto.

Limitando en lo posible la luz de longitud de onda corta (azules).

Para el alcance de estos principios, se proponen medidas técnicas que ayudan a prevenir en fondo y forma las distintas formas de contaminación lumínica generada en proyectos de iluminación de vías, parques, pasos peatonales y todos aquellos espacios sujetos del servicio de alumbrado público. Se establece también una jerarquía de aplicación y fiscalización según el rol definido para las organizaciones vinculadas con la prestación del servicio.

Medidas aplicables

- Zonificación

La zonificación debe aplicarse, pero a diferencia de lo que proponen la mayoría de normas internacionales, no debe limitarse a contemplar restricciones lumínicas solo dentro de áreas definidas administrativamente, como lo son las áreas silvestres protegidas o zonas urbanas e industriales. Al contrario, deben ser identificadas aquellas zonas ambientalmente más sensibles, independientemente de si su ubicación se encuentra en un área establecida para un uso de suelo específico y aplicar las medidas pertinentes para su debida protección ante la contaminación lumínica. La identificación de estas áreas sensibles a la CL podrá ser responsabilidad del encargado directo del alumbrado público, pudiendo apoyarse en el departamento de Gestión Ambiental; además, será de gran importancia el trabajo conjunto con las municipalidades para delimitar esta zonificación en sus territorios.

Servirá como regla general para los nuevos proyectos de alumbrado público aplicar las restricciones definidas para zonas E1, en cada caso que la luz pueda afectar ambientes como: bosques de galería, bosques secundarios, charrales, jardines, áreas de cultivo, plantaciones forestales, parques y cuerpos de agua como lagunas, ríos y quebradas, las playas, las costas y las orillas de aguas continentales. Esto con el fin de maximizar el valor de estos espacios para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

La clasificación de zonas ambientales que se recomienda adoptar, es la definida por la CIE en su norma 126: Directrices para la minimización del brillo del cielo.

Cuadro 21. Categorías de zonificación de iluminación medioambiental siguiendo la Norma CIE-150.

Zona ambiental	Entorno	Iluminación ambiental	Descripción/ Ejemplos
E1	Natural	Intrínsecamente oscuro	Son las áreas con las medidas de máxima protección ante la CL: Reservas naturales, parques nacionales, áreas de especial belleza y protección.

E2	Rural	Zona de brillo bajo	Zonas periurbanas y rurales
E3	Sub-urbano	Zona de brillo medio	Corresponde a suburbios industriales o residenciales
E4	Urbano	Zona de brillo alto	Para aquellos sitios destinados para el desarrollo intensivo de actividades por la noche: Centros de ciudades y áreas comerciales

Es necesario aplicar un área *buffer* que mitigue la iluminación cercana a zonas E1, por lo tanto, la iluminación en zonas E3 y E4 próximas a zonas sensibles debe ser sumamente respetuosa con los ecosistemas nocturnos; entonces no pueden clasificarse como zona E4 los espacios ubicados a menos de 2 km de una zona E1.

- **Eficiencia, eficacia luminosa y rendimiento de la luminaria**

Un mejor o más eficiente servicio no siempre es el equivalente a un mayor consumo energético. Antes de la adquisición de una tecnología a implementar, los prestatarios del servicio deberán realizar una valoración del conjunto de características ofrecidas por las nuevas tecnologías con el fin de seleccionar la menos contaminante y que logre cumplir con requerimientos necesarios para garantizar la satisfacción de las necesidades visuales de la población usuaria con el mínimo consumo energético.

La directriz 011-MINAE establece la total prohibición del uso de luminarias por parte del sector público que provoquen alto consumo de electricidad para ser utilizadas en cualquier ámbito, incluido la iluminación de vías de tránsito.

No obstante, ya las nuevas tecnologías, como son los LEDs, ofrecen reducciones significativas en el consumo eléctrico del alumbrado y una mayor eficiencia, aun ofreciendo una eficacia luminosa inferior a otras tecnologías, gracias a su mayor capacidad de focalizar la luz en su sitio. Para este tipo de tecnología la directriz 011-MINAE indica que las eficacias lumínicas deben ser iguales o mayores a 80 lm/W.

Otro factores para procurar una máxima eficiencia energética en iluminación exterior es la utilancia (se detalla más adelante) y el rendimiento de la luminaria, el cual debe ser igual o mayor a 60.

La transición a nuevas tecnologías, así como la integración y correcto cumplimiento de las medidas propuestas, pueden promover el alcance de un grado de eficiencia óptima del sistema de ALPU, donde el consumo y el confort estén en la proporción adecuada y se minimicen los efectos negativos de la contaminación luminosa.

- **Integración de sistemas inteligentes de iluminación**

Ante la necesidad de uso eficiente de la energía, se proponen los sistemas inteligentes de iluminación como una herramienta más a implementar para la mejora del servicio y la limitación de los efectos negativos de la contaminación lumínica.

A través de estos sistemas, se facilita la adaptación del encendido/apagado por fotocelda, la regulación de la potencia luminosa según las necesidades y usos cambiantes de las zonas iluminadas, a lo largo de la noche o con el cambio de las estaciones, así como el registro y supervisión de los parámetros eléctricos.

Debe asegurarse adaptársela adaptación del sistema de acuerdo con las necesidades que vaya teniendo el servicio de ALPU a lo largo del tiempo por crecimiento natural y progresivo de las ciudades. Además, este debe ser de fácil implementación pues le corresponde servir de apoyo para cada agente de la gestión diaria de operación y mantenimiento del sistema.

Otras de sus funciones a asegurar son:

- Recopilación y envío automática de la información y los reportes diarios.
- Inclusión y optimización de los sistemas de ahorro de energía.
- Gestión de datos con la facilidad de exportación a otros sistemas o herramientas (Patiño 2010).

Cada empresa deberá adecuar sus sistemas de forma que se procure mantener al máximo posible las condiciones naturales de noche, principalmente en aquellas áreas catalogadas como las más sensibles según la zonificación propuesta, en beneficio de los ecosistemas y la salud pública, sin perjudicar la seguridad de las personas mientras estas caminen o conduzcan.

Se propone que:

- Los sistemas de reducción de flujo luminoso deben permitir reducir uniformemente en al menos un 50% el nivel de iluminación.
- Determinar un horario en el que se reduzcan los niveles de iluminación, por ejemplo: durante altas horas de la noche (1:00 a.m. - 5:00 a.m), cuando el tránsito vehicular disminuye, se debería reducir la potencia de las luminarias hasta a un 60% manteniendo la uniformidad de la iluminación. Este horario será determinado por cada municipalidad, pues son estas quienes conocen las características y necesidades de sus territorios.
- Restringir el horario de la iluminación en áreas de alta fragilidad ambiental. El alumbrado puede permanecer apagado en horario nocturno cuando no sea necesario.
- Implementación de sensores de velocidad y dirección. Este tipo de tecnología permite adaptar la iluminación a las necesidades reales del lugar y la hora.

- **Restricciones para minimizar la luz intrusa**

Iluminancia vertical

Medida de la densidad del flujo luminoso que incide sobre áreas circundantes a una instalación de alumbrado. Su unidad es el lux (L).

Instrumento de medición: luxómetro calibrado al infinito.

Se deben considerar los siguientes límites aplicables a las viviendas cercanas, o viviendas potenciales, más específicamente a sus superficies relevantes o partes de superficies, especialmente donde están las ventanas. Los valores son la suma de todas las instalaciones de iluminación (Comisión Internacional de Iluminación, 1997 citado por Acosta y Quirós 2015).

Cuadro 22. Valores máximos de la iluminancia vertical en propiedades.

PARÁMETRO LUMINOTÉCNICO	CONDICIONES DE APLICACIÓN	ZONAS AMBIENTALES			
		E1	E2	E3	E4
Iluminancia en el plano vertical	Flujo nominal	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux

Fuente: Comisión Internacional de Iluminación 2003

Intensidad luminosa

La intensidad luminosa se define como el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido. Esta magnitud tiene característica direccional, su símbolo representativo es I y su unidad es la candela (cd).

$Cd = lm/Sr$ (lumen/estereorradián).

Instrumento de medición: Luminancímetro

Para su control, la norma CIE 150 propone límites máximos aplicables a cada luminaria en direcciones donde los campos de visión de superficies brillantes de luminarias eventualmente sean problemáticas para la población usuaria, desde posiciones donde tales campos de visión es probable que se mantengan (Comisión Internacional de Iluminación 2003).

Cuadro 23. Valores máximos para la intensidad de las luminarias en direcciones determinadas.

PARÁMETRO LUMINOTÉCNICO	CONDICIONES DE APLICACIÓN	ZONAS AMBIENTALES			
		E1	E2	E3	E4
Intensidad luminosa emitida por luminarias	Flujo nominal	2500 cd	7500 cd	10000 cd	25 000 cd

Fuente: Comisión Internacional de Iluminación 2003.

Zonas de descanso y reposo: las mediciones deben efectuarse a partir de 4 metros de la superficie (fachada). Este criterio no tiene en cuenta la existencia de ventanas, sino “el potencial” de existencia de ventana.

Zonas bajo algún régimen de protección especial: se procede a realizar el cálculo luminotécnico, siempre y cuando exista una emisión procedente de una instalación, normalmente nunca más lejana a 300 metros.

- **Restricciones para minimizar el resplandor luminoso de la cúpula celeste**

El brillo artificial del cielo nocturno es producido por la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en rangos espectrales, direcciones e intensidades innecesarias para el desarrollo de actividades humanas, iluminando en muchas ocasiones por encima de la horizontal y no en los lugares necesarios como el suelo y las calles (Acosta y Quirós 2015). Para ello se proponen los siguientes criterios:

Proporción de luz emitida hacia arriba UHF / FHS

Las luminarias empleadas para el servicio de ALPU deben contar con fotometrías que garanticen la emisión de luz por encima de la horizontal en menos de un 1% (instalado), sin embargo, es preferible de un 0% FHS instalado.

Ángulos de instalación

El ángulo de instalación para las luminarias debe ser siempre de 0°, de lo contrario no se podría garantizar que implementar otras medidas preventivas de la contaminación lumínica sea efectivo.

Direccionalidad

La direccionalidad está vinculada de manera muy estrecha a los conceptos de factor de utilización (k) y la utilancia (u) mantenida. Para alcanzar la máxima eficiencia energética, estos valores deben ser cercanos a la unidad, es decir, el flujo luminoso que sale de la luminaria debe incidir sobre la superficie a iluminar y solo sobre ella. El mínimo exigible para estos parámetros es de un 50%, aunque es posible alcanzar más del 75% en casos necesarios si se trata de tramos rectos (CIE 2018).

Limitación del espectro de emisión de las fuentes de luz

Para los cuatro tipos de zonificación propuestos, se establece que la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda menores de 500 nm será inferior al 15% de su radiancia total: E_1, E_2, E_3 y $E_4: (\lambda < 500 \text{ [nm]}) < 15\% (\lambda \text{ Tot. [nm]})$. Con el fin de lograr esta disposición, se recomienda evaluar la posibilidad de instalar tecnología LED AMBAR o LED FILTRADO, con temperatura de color resultante de 2125K frente a los 1800K del VSBP, esto conlleva una mejor reproducción cromática (IRC 51 respecto a 20-29 del VSBP o 45 del LED Ámbar) lo cual permite conseguir una eficiencia superior a los 101 lm/W, frente a los 86lm/W promedio del LED Ámbar (APEG 2016).

También es necesario adoptar una clasificación por tipo de fuente de luz en función de su espectro y asegurar el empleo de las luminarias más inocuas, según cada una de las zonas ambientales propuestas. Los tipos de fuente son los siguientes:

Luminarias Tipo I: corresponde a aquellas luminarias que tengan menos del 2% de radiancia por debajo de los 440nm, dentro del rango de longitudes de onda comprendido entre 280 y 780 nm. Para fuentes de luz tipo LED, deben presentar menos del 1% por debajo de los 500 nm y longitud de onda predominante por encima de los 585 nm.

Luminarias Tipo II: deben presentar menos del 5% de radiancia por debajo de los 440 nm, dentro del rango de longitudes de onda comprendido entre 280 y 780 nm. En el caso de LED, han de tener menos del 15% por debajo de los 500 nm.

Luminarias Tipo III: comprende aquellas luminarias que tengan menos del 15% de radiancia por debajo de los 440 nm, dentro del rango de longitudes de onda comprendido entre 280 y 780 nm.

En el cuadro 25 se observan los tipos de luminarias a utilizar en función de la zona de protección:

Cuadro 24. Criterios de selección de fuentes de luz a utilizar en función de la zona de protección.

Zona ambiental	Luminarias	% de radiancia por debajo de los 440 nm, dentro del rango de longitudes de onda comprendido entre 280 y 780 nm*	Temperatura de Color
E1	Tipo I	< 2% LED: < 1% por debajo de los 500 nm y longitud de onda predominante por encima de los 585 nm	Color ámbar puro ó PC ámbar
E2	Tipo II	< 5% LED: < 15% por debajo de los 500 nm.	≤ 3000 K
E3 y E4	Tipo III	< 15%	>3.000 K X ≤ 4.200 K

Fuente: Elaboración propia con datos del Decreto 190/2015 Cataluña.

Como alternativa al espectro de emisión, se puede seguir la clasificación por temperatura de color, siendo esta opción válida solo cuando por alguna razón especial no es posible determinar el rango espectral de cada fuente de luz, por lo que en el cuadro 22 se establece un rango de temperaturas de color para cada tipo de fuente de luz.

Ligado a lo anterior, es necesario comprender que el Índice de Reproducción de Color (IRC), es una característica cualitativa de las luminarias, no prioritaria para brindar el servicio de alumbrado público, pues es un aspecto deseable con mayor rigurosidad en otros ambientes, como espacios de trabajo interior, en donde se necesita una alta fidelidad con la cual la luz utilizada reproduce el color de los objetos. Para las zonas E1, el IRC no es de consideración, para las zonas E2 y E3 un IRC de 40 se considera aceptable.

Especificaciones de aplicación:

- Cada prestatario o municipalidad, mediante sus procesos licitatorios, puede solicite las especificaciones necesarias para que los oferentes de luminarias concursen con productos adaptados a los requisitos de la propuesta de eje ambiental para la prestación del servicio de alumbrado público.
- Todos los instrumentos deben estar debidamente medidos por un laboratorio de calibración acreditado ante Ente Costarricense de Acreditación.
- La ejecución de estas medidas debe generarse de forma gradual en el tiempo, a través de una planificación interinstitucional que plantee objetivos anuales considerando las posibilidades reales de cada parte involucrada.
- Todas las partes fomentarán la participación activa y organizada de las distintas poblaciones usuarias del servicio, a través de estrategias informativas y educativas acerca de la problemática y los cambios que se implementen en el sistema de alumbrado público. Los esfuerzos por evitar y minimizar los impactos de la contaminación lumínica pueden llegar a anularse si no se ven involucrados otros sectores como la industria, hotelería, comercio y vivienda, los cuales también son fuentes importantes de este tipo de contaminación.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

Este capítulo discute los principales hallazgos en respuesta a los objetivos de la investigación.

5.1. Análisis situacional de impactos negativos en los entornos: ecosistemas naturales, hábitats de descanso humano y la cúpula celeste

Se identificó que la posible contaminación lumínica generada mediante el servicio de alumbrado público puede contribuir en la generación de impactos negativos en los tres entornos descritos, para lo cual se analiza desde el papel rector de las instituciones públicas que tienen injerencia en los entornos descritos y evaluando su nivel de involucramiento, comprensión y medidas contingentes adoptadas por cada uno.

5.1.1. Análisis situacional por la incidencia de la iluminación artificial en ecosistemas naturales nocturnos de Costa Rica

Como se demostró mediante diversos autores en el capítulo de resultados, muchas formas de vida se ven afectadas negativamente por la exposición a luz artificial durante la noche, y muchas veces implica impactos no solo a nivel de organismos, sino también a niveles ecológicos más complejos, como hábitats completos o a nivel de poblaciones. De acuerdo con las competencias establecidas legalmente para el MINAE y el SINAC, se aplicaron los instrumentos de evaluación de competencias con el fin de conocer su injerencia en cuanto a posibles medidas adoptadas para mitigar o minimizar efectos adversos que puedan generar proyectos luminotécnicos en general, pero principalmente aquellos relacionados con el servicio de ALPU.

En contraste con las facultades legales con que disponen estas instituciones, y los resultados obtenidos mostrados en el Cuadro 10 y Cuadro 11 (percepción), ambas instituciones no cuentan con una base teórica capaz de permitirles atender de alguna forma los posibles impactos generados por las diversas fuentes de CL presentes en el territorio nacional. Por parte de la SEPSE, el único acercamiento al tema son los esfuerzos de normalizar y asegurar el uso de equipos luminotécnicos eficientes, pero como se explicó en el apartado sobre medidas existentes para evitar la CL, este es apenas uno de varios temas a considerar para el manejo integral de esta problemática.

El SINAC, a pesar de que sí se ha identificado algunas fuentes de CL, no cuenta con una definición para ella (ver cuadro 10). Referente a iluminación exterior, la institución solo emite su criterio y recomendación cuando les es solicitado por proyectos como la construcción de carreteras nacionales, sin embargo, estas recomendaciones se limitan a cómo debe ser dirigida la luz.

En el caso de áreas con algún régimen de protección especial, se apega a lo estipulado en el Reglamento a la Ley de Vida Silvestre, el cual solo establece que el haz de luz de los sistemas de iluminación exterior deberán estar proyectados hacia el suelo y en las vías de acceso a una altura de 80 centímetros sobre el suelo, dejando por fuera criterios importantes con el fin de evitar o minimizar posibles efectos generados por un mal diseño luminotécnico en las conductas de las especies de vida nocturna y ecosistemas en general.

5.1.2. Análisis situacional del incremento de los niveles lumínicos en hábitats humanos

La contaminación lumínica también puede representar riesgos a nivel de salud pública, como se detalla en la sección de *Efectos a la salud humana por la luz intrusa*. A pesar de la amplia evidencia científica generada internacionalmente, el Ministerio de Salud no cuenta con una posición definida acerca de la CL pues en sus años de gestión no se ha registrado ni percibido como un problema que afecte directamente la salud pública. Esto hace aún más necesario el desarrollo de investigaciones epidemiológicas para generar conocimiento de aplicación a nivel poblacional sobre los posibles efectos de la presencia de luz artificial en horarios de descanso, específicamente por intromisión lumínica.

5.1.3. Análisis situacional del resplandor luminoso en la cúpula celeste en el país

De acuerdo con los prestatarios del servicio de ALPU, el brillo en el cielo es una manifestación de la CL, sin embargo, es asociada solamente como un desperdicio energético y no se relaciona a una agresión ambiental con múltiples implicaciones ecológicas. Debido a esta limitada perspectiva, se puede comprender que las iniciativas llevadas a cabo para mejorar los parques de alumbrado público se restringen a reducir los consumos energéticos para brindar el servicio pero manteniendo los niveles de

iluminación, principalmente mediante la adopción de normativas exigentes en cuanto al uso de equipos catalogados como eficientes para el consumo energético, dejando de lado muchas otras aplicaciones técnico ambientales con el fin de evitar la dispersión lumínica en el cielo sin afectar los niveles lumínicos recomendados para el desarrollo de actividades humanas.

Este proceso puede verse facilitado mediante el uso de equipo, que además de cumplir normas de eficiencia energética, también cuente con certificados voluntarios internacionalmente reconocidos por ofrecer soluciones amigables con los cielos nocturnos, como la desarrollada por la organización International Dark Sky. Bajo estas condiciones existen muchos fabricantes de luminarias operando en el país, como CREE, Philips, Schreder, Nemaflux LED lighting y General Electric.

En Costa Rica, se puede afirmar, los principales actores sociales desconocen con detalle las fuentes y los efectos generados por un servicio de ALPU mal diseñado. En este sentido, es preciso realizar investigaciones que permitan el desarrollo de diagnósticos a partir de información primaria para cada uno de los entornos estudiados. Como se determinó en el diagnóstico organizacional del servicio de ALPU, el país cuenta con una estructura institucional capaz de adoptar la propuesta diseñada para abordar el eje ambiental para el uso sustentable de la luz, y esto es ventajoso.

En el tanto el país no pueda demostrar mediante estudios técnicos las formas y el grado de impactos producto de una posible CL, es preciso respetar el Principio Precautorio ratificado por Costa Rica mediante Ley N° 7416 que aprueba el Convenio sobre Diversidad Biológica, el cual establece en su Principio 15: “Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente”.

5.2. Análisis del nivel organizacional para la gestión del alumbrado público en Costa Rica

El servicio de alumbrado público en el país, de acuerdo con el Código Municipal, es competencia de las municipalidades. Sin embargo, este servicio no ha sido una prioridad en la administración cantonal, principalmente debido a que otras organizaciones del país, han contado con mayor capacidad técnica para asumir la prestación del servicio, como es el caso del ICE, la CNFL, ESPH, JASEC y las cooperativas de electrificación rural.

La vía administrativa y legal ha permitido estas alianzas, mediante los contratos marco de concesión (Loría y Martínez 2016). Cabe destacar, que para la muestra de municipalidades estudiadas, al consultar sobre sus gestiones en cuanto a iluminación de exteriores, como vías o parques, todas declararon como necesario tener mayor participación en la gestión del servicio de ALPU, y así puedan colaborar en la prevención de efectos adversos por el uso de la luz artificial nocturna en sus territorios.

A partir de lo expuesto en el diagnóstico a nivel organizacional, la CONACE se desempeña como la más alta mesa de diálogo y coordinación entre instituciones públicas y privadas para la toma de decisiones de importancia nacional en cuanto al abastecimiento energético eficiente, incluyendo dentro de sus temas el servicio de ALPU. El tema medular sobre ALPU a nivel CONACE es el cumplimiento de lo dispuesto en el VII PNE, sobre la planificación de parques de alumbrado público eficientes, sin embargo, de acuerdo con lo expresado por las empresas electrificadoras, aún está pendiente la normalización del servicio a nivel país.

Otro de los hallazgos fundamentales de la investigación es que el servicio de ALPU no se encuentra regulado en términos ambientales, únicamente en términos de calidad y eficiencia energética; esto de acuerdo con las entrevistas realizadas al MINAE-SEPSE, DIGECA, MINSA, MOPT y ARESEP, en donde no se pudo identificar alguna norma, gestión, directriz o reglamento condicionador del uso de la luz en ambientes nocturnos para prevenir las posibles agresiones ambientales diagnosticadas mediante la revisión bibliográfica.

Como se puede ejemplificar con el caso de las pantallas luminosas en carreteras, el MOPT ha identificado el brillo emitido por estas como una problemática pues atenta contra la seguridad de los usuarios en la vía, por la distracción y encandilamiento generados. Conforme con la información suministrada por Roque Campos, abogado del Departamento de Inspección y Demoliciones, se han logrado intervenir tres de estas pantallas en el país, pero aún no se han dispuesto los criterios técnicos necesarios que permitirían su regulación a través de la reforma del Decreto 29-253-MOPT.

Otro caso en donde se proyecta el tipo de regulación ambiental al cual el ALPU se encuentra sujeto, fue el mencionado por la CNFL, que en su caso para todo proyecto luminotécnico en carreteras, previamente se realizan los estudios de impacto ambiental pertinentes ante la SETENA, sin embargo, aseguran no haber recibido retroalimentación en cuanto a la prevención de impactos generados por la luz, todos los requisitos se orientan a otras temáticas relacionadas a las etapas de construcción.

Otro caso importante de análisis es el proceso de fijación de tarifas para el servicio de ALPU por parte de la ARESEP, quien a pesar de haber buscado dirigir sus esfuerzos a la mejora de aspectos metodológicos para la fijación de tarifas con el fin de asegurar la calidad y la protección del ambiente (ARESEP s.f.), no ha logrado contemplar este último aspecto en la definición de la tarifa del servicio de ALPU, pues hasta el momento no se cuenta con estudios técnicos que contemplen la prevención de la CL desde la perspectiva de la calidad de la iluminación y la eficiencia energética.

5.3. Análisis de las tecnologías que conforman el parque de ALPU en Costa Rica

Siguiendo la Figura 7, el parque de ALPU de Costa Rica está conformado por siete diferentes tipos de fuente de iluminación, en el que menos de un 3% del total de luminarias corresponden a tecnologías con aditivos metálicos de mercurio. Esto obedece a lo dispuesto en el Convenio de Minamata sobre El Mercurio, firmado por Costa Rica en el año 2013, el cual busca limitar las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio, aspecto muy positivo también desde la perspectiva ambiental de la luz, pues estas tecnologías de iluminación resultan una fuente de luz muy contaminante, a causa de su alta emisión de longitudes de onda corta en el azul, generalmente comprende entre el 25-50% respecto a la total visible y con pobres eficacia de aproximadamente 50 lm/W (García *et*

al.2012), caracterizada por ser la más nociva para muchas formas de vida (CIE 2018). Esto comprende virtualmente una ventaja en el tanto no se opte por el uso de tecnologías con espectros similares, como los LED de luz fría por encima de los 3500 K.

Por su parte, las luminarias del tipo Vapor de Sodio de Alta Presión, comprenden la mayor fracción de luminarias del parque nacional de ALPU, cerca del 83%. Aunque no se cuenta con un diagnóstico específico de la tipología, de acuerdo con lo conversado con los encargados de ALPU, la mayoría de luminarias de este tipo son antiguas o en términos generales de CL, esta fuente de luz se caracterizan por presentar en su conjunto de reflector y difusor, propiedades que propician FHS en diferentes porcentajes, considerado uno de los factores causantes de efectos molestos como intromisión lumínica directa e indirecta, deslumbramiento y brillo en el cielo, lo cual se traduce automáticamente en desperdicio de energía principalmente porque no se está utilizando la energía justa para iluminar únicamente aquello necesario (García *et al.*2012).

Así también, como se muestra en la siguiente figura 9, la composición del espectro de las tipologías VSAP no son tan perjudiciales en términos de emisión de longitudes de onda corta, pues no superan el 5% de emisión de longitudes de onda por debajo de los 440 nm respecto a la luz visible y, además, presentan buenas eficacias de hasta 100 lm/W (García *et al.*2012).

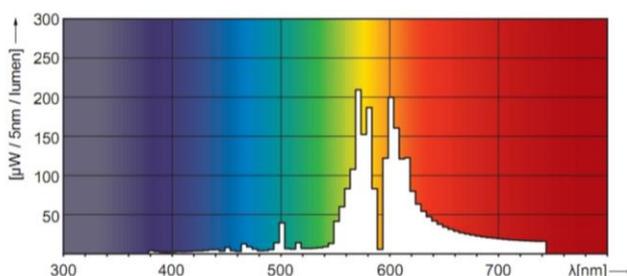


Figura 9. Muestra distribución espectral para VSAP. Fuente García *et al.* 2012.

Tomando en cuenta la dinámica de sustitución a tecnología LED, otro aspecto positivo de que gran parte del parque de ALPU esté compuesto por tipologías de VSAP, es su temperatura de color, la cual ronda los 2300 K con un índice de reproducción de color de 25. Así, se supone, los usuarios del servicio no percibirán un cambio radical en su entorno si se optan por las luminarias LED recomendadas e inocuas, sin emisión en el espectro por

debajo de los 440 nm, aun en el caso de ser necesario la implementación de tecnologías LED ÁMBAR o PC LED. Inclusive esta última tecnología ofrece IRC de 70 (CIE 2018). Esta percepción positiva frente a colores de la luz de la luz LED fue experimentada por el ICE en la zona de Tortuguero, en donde los usuarios señalaron estar satisfechos con el cambio de luminarias VSAP a LED ÁMBAR o PC LED con TCC menor a 3000 K.

En cuanto a las tipologías LED empleadas en Costa Rica, el hallazgo más importante es que se perfila como una tecnología aplicada para mejorar los estándares en la prestación del servicio de ALPU, en vista al ahorro económico al disminuir la potencia instalada y mantener los niveles de iluminación, y contar una mayor vida útil frente otras tipologías, por sus mínimas pérdidas de potencia por funcionamiento y sus mínimas necesidades de mantenimiento (CIE 2018). Sin embargo, es preciso conocer los impactos generados por esta tecnología si no se atienden los criterios señalados en la propuesta diseñada, y así su uso no termine generando mayores niveles de CL, como se describe a continuación.

5.4. Análisis del parque de alumbrado público nacional respecto a su momento de transición tecnológica

A partir de lo dispuesto en el VII PNE, sobre la necesidad de asegurar la eficiencia del parque de alumbrado público, los prestatarios a nivel de la CONACE se motivaron por renovar las tecnologías instaladas actualmente en el país por LED. Si bien es cierto, una de las metas específicas es que todos los prestatarios deben diseñar e implementar un Plan de Eficiencia Energética de Alumbrado Público, como se muestra en el diagnóstico del servicio a nivel operativo y organizacional, solamente el ICE y la ESPH declaran contar con sus respectivos planes, mientras los demás prestatarios han definido solamente la tarea de migrar a la tecnología LED para el logro de las metas.

Considerando el informe de la ARESEP y los datos de la Evaluación al Plan Operativo Institucional del ICE sobre la cantidad de LEDS que fueron instalados durante el 2017, aproximadamente un 17% del parque de ALPU del país ha sido sustituido por esta tecnología, esto mediante el aporte total de 20634 luminarias entre todos los prestatarios del servicio, alcanzando un avance del 178% de la meta anual (ICE 2018).

El contexto nacional de transición e innovación tecnológica en el cual se encuentra el país, en donde aún falta por sustituir cerca de un 83% del parque de ALPU, puede ser considerado como una oportunidad para la adopción de medidas que previenen la CL y sus posibles efectos, pero es motivo de otra investigación determinar específicamente en cuales casos se requieren medidas de adecuación o remediales en cuanto a CL.

Por un lado, entre las empresas prestatarias del servicio existe el consenso de que la migración tecnológica a LED comprende una vía rápida de reducir potencia y costos de operación sin disminuir los niveles de iluminación existentes; en consecuencia a corto plazo estas medidas se reducen en ahorro energético y económico. Por otro lado, el cambio tecnológico se ha concebido como una solución inmediata a la problemática, como se muestra en el cuadro 15, y además por sus altos índices de reproducción de color refuerzan la seguridad ciudadana y mejora la visibilidad. Como bien se expone en la sección de *“Incremento de niveles lumínicos en hábitats de descanso humanos”* el aumento en los niveles de iluminación no son sinónimo seguridad. En este sentido Steinbach *et al.* (2015) concluye en su trabajo: “Las autoridades locales pueden reducir de manera segura el alumbrado público ahorrando costos y energía sin afectar negativamente las colisiones de tránsito ni el crimen”.

En relación al índice de reproducción del color, este es un criterio relevante con el cual las empresas prestatarias del servicio han optado por la instalación de LEDs blancos en los últimos años (4000K - 5700 K), debido al imaginario de que una alta fidelidad del color puede disminuir los accidentes de tránsito. Elena Sanjuán (2018) de los laboratorios CandelTEC señala¹: una instalación de alumbrado público no es una instalación para comparar colores con exactitud, estas deben permitir ver con seguridad y asegurar confort visual, pero no es necesario distinguir entre dos tonos de un mismo color. Un alto índice de reproducción del color es aplicable para instalaciones interiores donde la visión exacta de un color es muy importante, por ejemplo: una sala quirúrgica o un estudio de arte. Teniendo en cuenta esto y las implicaciones ya descritas en la sección 4.1, la aplicación de los LEDs no involucra una disminución inmediata de la CL, más bien pueden agravarla si no se siguen las medidas propuestas (CIE 2018).

¹ En su ponencia titulada “Últimos avances en la evaluación de la reproducción cromática: Índice de rendimiento cromático (Ra) e índice de fidelidad cromática (Rf)” para el XLIV Simposium CEI de Alumbrado Público.

Si bien la existencia de una amplia gama de equipo luminotécnico en el mercado es una ventaja considerable frente a la adopción de la propuesta diseñada, las empresas prestatarias son quienes disponen del tipo y características de las luminarias a emplear en el parque de alumbrado público del país, mediante los procesos licitatorios. Ante esto, uno de los señalamientos realizados por Ecological, como empresa distribuidora de luminarias en el país, es que aunque en muchos casos quisieran incidir en mejorar los diseños de la iluminación de carreteras, pero no les es factible modificar u ofertar de otra forma a lo especificado en los términos de referencia de las licitaciones, por lo tanto, creen necesario contar con mayor participación en el diseño de iluminación sin CL de espacios públicos.

5.5. Evaluación de empleo de medidas mínimas para la minimización de la CL en la prestación del servicio de ALPU.

La evaluación preliminar mostrada en el Cuadro 20 permitió comprobar que los procesos de renovación de luminarias en los parques de ALPU por prestatarios y se dan de forma desarticulada. Muchos de los criterios empleados, son distintos para cada caso, cada empresa sigue sus propios protocolos y normas sobre diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas de alumbrado público y no contemplan los conceptos necesarios para evitar la CL.

Por ejemplo, las temperaturas de color de las fuentes de luz se emplean a criterio de cada encargado del servicio, que en la mayoría de los casos es determinado por una percepción estética y por obtener la mejor reproducción del color, esto a excepción de Coopeguanacaste y el ICE, quienes han implementado luminarias color ámbar en áreas costeras, para evitar afectaciones en la ecología de las tortugas marinas. Sin embargo, los resultados indican una tendencia en el uso de TCC entre los 4000K y 5700K, caracterizadas por la CEI 2018 como fuentes de luz contaminantes por su composición espectral y su capacidad de dispersarse en el ambiente.

Tampoco existe un criterio unificado sobre la zonificación posible de implementar para diseñar los distintos escenarios a iluminar, su aplicación se define a partir de los flujos de tránsito y no la sensibilidad ambiental que pueda presentar un área determinada.

Un punto importante es que la mayoría ha establecido como norma, la instalación de las luminarias a 0 grados, perpendicular a las carreteras, lo cual permite reducir la posibilidad de emitir luz por encima de la horizontal, una de las formas más generalizadas de CL. Aunque de acuerdo con los administradores del servicio de cada empresa prestataria, en el campo se puede encontrar una variación de ángulos de hasta 5 grados por encima de la horizontal. Esto muchas veces obedece a las limitaciones de diseño, principalmente a la distancia interpostal, pues por lo general las luminarias son colocadas en postes dispuestos para la distribución eléctrica y no en función del ALPU.

Otro aspecto positivo demostrado por las empresas prestatarias es que en sus procesos licitatorios, en su mayoría, están solicitando luminarias LED dimerizables, eso significa una clara oportunidad para aplicar lo señalado en la propuesta respecto a sistemas de telegestión y adecuar los porcentajes recomendados. En el caso del ICE han solicitado luminarias de este tipo en un 15% a un 30% del nivel 1 ofrecido (ICE 2018), lo cual es un avance significativo en el concepto de iluminar solo en los momentos requeridos.

5.6. Análisis de la pertinencia y aplicabilidad de la propuesta del eje ambiental para un uso sustentable de la luz en el servicio de alumbrado público

De acuerdo con la identificación de las más reconocidas normativas internacionales para el control de la CL y el diagnóstico realizado, se logró construir el eje ambiental para la gestión del alumbrado público del país, de forma que esta propuesta corresponda a las capacidades reales tanto de las empresas distribuidoras como de las instituciones públicas implicadas para una efectiva ejecución y seguimiento.

Como resultado de la investigación sobre las medidas existentes para la gestión del alumbrado público que procure un ambiente sano en la sección 4.2, que a su vez fueron integradas a la propuesta del eje ambiental para la prestación del servicio de ALPU en el país, se comprueba mediante el proceso de validación, que son medidas técnicamente pertinentes y viables, esto debido principalmente a que como lo expresaron los administradores y encargados del servicio entrevistados, estas son medidas que técnicamente no distan significativamente de sus operaciones comunes, basta con una adecuación no compleja en sus labores para poder aplicar el eje ambiental propuesto. Incluso algunos de estos criterios técnicos no son desconocidos en la operación del parque

de alumbrado, pero no son aplicados desde una perspectiva ambiental, de prevención y mitigación de posibles impactos negativos.

Un ejemplo de lo anterior es el criterio sobre la direccionalidad de la luz, vinculado con conceptos como factor de utilización (k) y la utilancia (u) mantenida. Al evaluar su pertinencia en el panel de expertos, se determinó -en cuanto a la prestación del servicio- efectivamente se toma en cuenta para evaluar la uniformidad de la iluminación en las carreteras, con el fin de evitar la generación y alternancia de espacios iluminados y espacios oscuros en la calzada, denominado comúnmente como el “efecto cebra”, sin embargo, eso ocurre a costa de la generación de otras formas de CL como la emisión de luz por encima de la horizontal, la intromisión lumínica o iluminación directa de espacios ecológicamente sensibles; generalmente debido a la existencia de limitaciones infraestructurales que obligan a la utilización de luminarias en potencias, ópticas, altitudes e interdistancias no ajustadas a las necesidades reales de iluminación.

Uno de los factores encontrados que facilita la adopción y correcta aplicación de la propuesta diseñada, es la gama de capacidades técnicas y de servicios del Laboratorio de Eficiencia Energética (LEE) del ICE. De acuerdo con el coordinador general Marco Virgilio Jiménez, el laboratorio cumple con un rol de soporte en los procesos de adquisición de luminarias por parte de los prestatarios del servicio de ALPU, pues permite comprobar el cumplimiento de parte de los oferentes con los términos de referencia especificados en las licitaciones. Esto supone una ventaja importante máximo cuando 5 de los criterios de la propuesta pueden ser evaluados desde el laboratorio, como lo son la eficacia luminosa, eficiencia energética, temperatura de color correlacionada, flujo hemisférico superior y los espectro de emisión.

Por otra parte, de acuerdo con las capacidades técnicas de los prestatarios y con el proceso de validación de la propuesta, se determinó la viabilidad de atender la aplicación de criterios que deben ser comprobados en campo o desde el momento del diseño, como lo son: factor de utilización (k), utilancia (u), intensidad luminosa, iluminancia vertical, los ángulos de instalación y la zonificación.

Para este último aspecto, la zonificación es uno de los criterios en el cual la participación estrecha y directa de los municipios es indispensable, en apego de lo dispuesto en la Ley

Orgánica del Ambiente en su artículo 28 *“que es función las municipalidades definir y ejecutar políticas de ordenamiento territorial, tendientes a regular y promover los asentamientos humanos y las actividades económicas y sociales de la población, así como el desarrollo físico-espacial, con el fin de lograr la armonía entre el mayor bienestar de la población, el aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación del ambiente.”*, pues como se determinó en la investigación en la sección 4.4. sobre la validación de la propuesta, los convenios marco para la concesión del servicio de ALPU en cada cantón, pueden contemplar la adopción de la propuesta diseñada, para lo cual el municipio puede definir cuáles son aquellas zonas con entornos E1: natural, E2: rural, E3: suburbano, E4: urbano y, además, adoptar un rol fiscalizador en cuanto a la aplicación de iluminación acorde con la zonificación establecida. De esta forma, las municipalidades pueden tener mayor presencia e impacto en la agenda del alumbrado público del país, que tradicionalmente han estado ausentes o relegadas a intervenciones mínimas (PEN 2017).

Esta propuesta también es viable gracias a la amplia oferta tecnológica existente en iluminación, como puede observarse en la sección de Disponibilidad Tecnológica en Costa Rica. Las empresas distribuidoras de tecnologías en iluminación tienen la capacidad de fungir como agentes facilitadores de un proceso de mejoramiento continuo de los parques de ALPU, el cual limite los posibles impactos negativos de la CL, dado que muchas de estas cumplen con los últimos estándares internacionales de iluminación e incluso ofrecen luminarias certificadas por la International Dark Sky Association (IDA 2018).

Como último punto de análisis, los principales retos para la adopción de la propuesta, identificados por los tres sectores implicados en esta investigación, son el desconocimiento de la CL como una problemática que puede afectar la salud humana y los ecosistemas nocturnos como se muestra en los cuadros 10, 11, 14 y 15, además de la poca articulación existente entre los sectores, lo cual dificulta la posible eficacia de la gestión compartida propuesta en la sección 4.5.

5.7. Limitaciones metodológicas durante la investigación

Se realizó un cambio en el nombre de la tesis, su principal modificación constó de una aclaración en relación al principal producto de investigación, ya que se establece como fin proponer una conceptualización de una normativa, y no la normativa como tal. Este cambio obedece en primer lugar, a la disponibilidad de tiempo efectivo y a la colaboración de expertos en materia legal, que permitiera el trabajo interdisciplinario para el diseño adecuado en fondo y forma de la normativa. Estas tareas pendientes pueden ser sujeto de investigaciones futuras.

Por otra parte, en el diseño de la investigación se propuso como parte del trabajo de campo la aplicación y evaluación de los criterios de la propuesta, acompañado de pruebas de laboratorio para demostrar su aplicabilidad y efectos esperados. Estos datos serían analizados mediante métodos estadísticos y representaciones gráficas, para comparar resultados versus normativas internacionales. Sin embargo, conforme se estudiaron y definieron los criterios técnicos con el fin de procurar un ALPU sustentable, se determinó que no era una metodología factible y se salía del alcance propuesto.

Por esta razón, se optó por realizar un diagnóstico sobre la base técnica e institucional de los entes rectores, el ente regulador de los servicios públicos y los prestatarios del servicio, así como de las principales tecnologías que comprenden el parque de ALPU de Costa Rica y hacer valoraciones teóricas por fuente de luz y no de campo. Las condiciones en campo pueden ser sumamente complejas, por lo tanto, se recomienda para otra investigación hacer validaciones mediante software de diseño de proyectos luminotécnicos y, posterior al diseño, evaluar en campo los criterios en zonas puntuales de interés.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo presenta las principales conclusiones que surgieron a raíz de los principales hallazgos obtenidos durante la elaboración del diagnóstico y propuesta; al mismo tiempo da evidencia del cumplimiento de los objetivos planteados. Además, se brindan recomendaciones, las cuales se pueden mejorar en el desarrollo de futuras investigaciones tendientes a profundizar el tema de la CL en el contexto nacional.

CONCLUSIONES

A partir del análisis realizado y los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, referidos a la conceptualización de una normativa para un uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de ALPU, se emiten las siguientes conclusiones:

- El parque de ALPU de Costa Rica ha crecido de forma desarticulada y omiso a las recomendaciones internacionales para minimizar y evitar la CL.
- La gestión del servicio de ALPU en Costa Rica ha recaído en las capacidades técnicas e institucionales de las empresas electrificadoras del país, que a partir de lo estipulado en el VII PNE, la gestión ha dado un giro hacia la eficiencia energética y mejorar la calidad del servicio, sin embargo, las medidas adoptadas no implican un uso sustentable de la luz.
- Las variables luminotécnicas asociadas a los efectos molestos y nocivos para la salud humana y los ecosistemas nocturnos no son desconocidos por las empresas prestatarias, pero su aplicación y evaluación se realiza desde concepciones de calidad, principalmente dirigida a la iluminación de carreteras, pero no contemplan las posibles agresiones ambientales que puede suponer el uso de luz artificial en ambientes nocturnos.
- La propuesta diseñada contempla los parámetros luminotécnicos internacionalmente reconocidos que procuran una gestión inocua del servicio desde la perspectiva del uso de la luz, la cual asegura la calidad, la protección del ambiente, de los cielos nocturnos y la salud pública.
- En esta tesis se demuestra que la tecnología disponible en el país y las capacidades técnicas de las empresas prestatarias del servicio de ALPU no son un impedimento para asumir la propuesta, sino más bien, los avances tecnológicos en el campo de la iluminación pueden representar una oportunidad para prevenir y minimizar la CL,

en el tanto los prestatarios del servicio de ALPU consideren los criterios técnicos especificados en la propuesta diseñada.

- Los factores que principalmente dificultan la aplicación de la propuesta es el gran desconocimiento existente en el país sobre los efectos negativos asociados a la CL y por ende los pocos estudios generados hasta la hoy.
- La poca articulación interinstitucional e intersectorial representa un reto para la efectiva aplicación de la propuesta.

RECOMENDACIONES

Con las conclusiones planteadas y el análisis de la investigación se pueden identificar escenarios que dan pie a las siguientes recomendaciones:

- El servicio de ALPU comprende una de las más importantes fuentes de CL a nivel mundial, sin embargo, es solo una de muchas fuentes donde se pueden identificar en el país. Entonces, para un manejo integral de la problemática, se recomienda la aplicación de estrategias de información y comunicación de manera que se logre el involucramiento de la sociedad civil a las medidas del control de la CL.
- Se debe promover la investigación sobre la CL en el país, que genere evidencia de sus impactos directos e indirectos, facilitando la toma de decisiones en todos los sectores involucrados.
- Incluir en los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental y los Programas de Gestión Ambiental Institucional índices que permitan diagnosticar, evaluar y mitigar posibles fuentes de CL. Los criterios y los límites máximos definidos en la propuesta de normativa que conforma esta investigación, pueden ser incluidos tanto en los formularios de Evaluación de Evaluación Ambiental como en los Índices de Implementación de los PGAI, mediante una matriz que garantice proyectos luminotécnicos con mínima contaminación lumínica.
- Los prestatarios del servicio de ALPU deben dar prioridad a la compra de luminarias que cuenten con certificaciones voluntarias sobre tecnologías amigables con los cielos nocturnos.

Bibliografía

Acosta, V. 2013. Pérdida de hábitats y biodiversidad desvanecida en la ciudad de Heredia (Costa Rica). *Ambientico* 232-233, Artículo 10: 64-74 p.

Agencia Provincial de la Energía de Granada (APEG). 2016. Recomendaciones técnicas de implementación LED en alumbrado público (en línea). Consultado 06 de mar. 2018. Disponible en <http://www.apegr.org/images/descargas/FondosEBC/04RecomendacionesTecnicasAlumbradoPublico.pdf>

Altuve, S.; Rivas, A. 1998. Metodología de la Investigación. Módulo Instruccional III. Caracas, Venezuela. Universidad Experimental Simón Rodríguez.

Alvarado, J. 1997. Análisis del procesamiento de la estimulación visual: etapas y organización de los recursos atencionales (en línea). Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid. Consultado 11 abr. 2015. Disponible en <http://www.foal.es/sites/default/files/docs/An%C3%A1lisis%20del%20Procesamiento%20de%20la%20Estimulaci%C3%B3n%20Visual.pdf>

Angel, A.; Ronel, N.; Wallnes, R.; Mellet, B.; Harris, L.; Wilson, I. 2014. Ecological risk assessment of sea turtles to tuna fishing in the ICCAT Region. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*. 70. 2226-2259.

ARESEP. Principios Regulatorios (en Línea). Consultado 16 de mzo. 2015. Disponible en <http://www.aresp.go.cr/aresp/principios-regulatorios>

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. 1995. Ley Orgánica del Ambiente (en línea). No. 7554. Consultado 12 abr. 2015. Disponible en http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/costa_rica/costa_rica_7554.pdf

Bandín, C. 2015. Análisis de la salud circadiana como factor predictivo de éxito en la pérdida de peso (en línea). Consultado 18 mzo. 2015. Disponible en http://digitum.um.es/jspui/bitstream/10201/43733/1/TESIS_MCBAND%C3%8DN.pdf

Bates, A.; Sadler, J.; Grundy, D.; Lowe, N.; Davis, G.; Baker, D.; Bridge, M.; Freestone, R.; Gardner, D.; Gibson, C.; Hemming, R.; Howarth, S. Orridge, S. Shaw, M., Tams, T.; Young, H. 2014. Garden and landscape-scale correlates of moths of differing conservation status: significant effects of urbanization and habitat diversity (en línea). Birmingham, Reino Unido. The University of Birmingham. Consultado 17 my. 2018. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article/related?id=10.1371/journal.pone.0086925>

Bennie, J.; Davies, T.; Duffy, J.; Inger, R.; Gaston, K. 2014. Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights (en línea). Disponible en <https://www.nature.com/articles/srep03789>

Bennie, J.; Davies, T.; Cruse, D.; Gaston, K. 2016. Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*, (104): 611–620

Blanco, J. 2015. Disminución del consumo de electricidad: una oportunidad inmediata (en línea). Consultado el 18 mzo. 2015. Disponible en <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/250.pdf>

Boyce, P., 2015. Editorial: Advancing lighting controls. *Lighting Research and Technology*. v.47, 131 p.

Bugallo F.; Lozano C.; Urraca J.; Díaz F.; Puig O. 2000. Contaminación Lumínica (en línea). V Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid, España. Consultado 8 ago. 2014. Disponible en <http://www.celfosc.org/biblio/general/gt20vconama.pdf>

Capó, M. 2007. Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Editorial Tebar. España.

Chacón, D.; Sánchez, J.; Calvo, J.; Ash, J. 2007. Manual para el manejo y la conservación de las tortugas marinas en Costa Rica; con énfasis en la operación de proyectos en playa y viveros. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Gobierno de Costa Rica. San José. 103 p.

Chepesiukse, R. 2010. Extrañando la oscuridad. Los efectos de la contaminación lumínica sobre la salud (en línea). Consultado 22 abr. 2018. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342010000500015

Cinzano, P.; Falchi F.; Elvidge, C. 2001. The first World Atlas of the artificial night sky brightness (en línea). Disponible en <https://academic.oup.com/mnras/article/328/3/689/1240556>

Cinzano, P.; Falchi, F. 2013. Quantifying light pollution. (en línea). *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. 139:13-20 p. Consultado 28 jun. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022407313004755>

Colombo, E. y Beatriz O'Donell. 2010. Luz, color y visión. *Inmediata* (en línea). Consultado el 27 de marzo de 2015. Disponible en: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap02.pdf>

Colombo, E., O'Donell, B. y Carlos Kirschbaum. 2010. Iluminación eficaz, calidad y factores humanos (en línea). Consultado 27 mzo. 2015. Disponible en <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap03.pd>

Dauchy, R.; Xiang, S.; Mao, L.; Brimer, S.; Wren, M.; Yuan, L.; Hill, S. 2014. Circadian and Melatonin Disruption by Exposure to Light at Night Drives Intrinsic Resistance to Tamoxifen Therapy in Breast Cancer (en línea). *Cancer Research*. Disponible en [/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25062775](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25062775)

De La Torre, T. 2010. Hacia un nuevo modelo energético para nuestro país (en línea). Consultado el 18 jul. 2014. Disponible en <http://www.dse.go.cr/es/foro/EstrategiaEnergetica.pdf>

Declaración sobre la defensa del cielo nocturno y el derecho a la luz de las estrellas. (Declaración de la Palma). 2007. Conferencia internacional en defensa de la calidad del cielo nocturno y el derecho a observar las estrellas (en línea). La Palma, España. Consultado el 18 jul. 2014. Disponible en <http://www.starlight2007.net/pdf/DeclaracionStarlightES.pdf>

Delfino, H. 2013. La vida a través del tiempo (en línea). Consultado 16 jun. 2018. Disponible en http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/paleo/rpm/PM64_03_interactivo.pdf

Earth Observation Group (EOG). 2014. Light Pollution Map (en línea). Disponible en <http://www.lightpollutionmap.info/#zoom=7&lat=1091149.3071&lon=-9340562.73083&layers=0BTFFFTT>

- Environmental Health Perspectives. 2009. Extrañando la oscuridad. Los efectos de la contaminación lumínica sobre la salud. V.117, A20-A27 p.
- Escobar, J.; Cuervo, A. 2008. Validez de contenido y juicio de expertos: Una aproximación a su utilización. Avances en Medicina. V. 6, 27-36 p.
- Falchi, F.; Cinzano, P.; Duriscoe, D.; Elvidge, C., Kyba, C.; Baugh, K.; Portnov, B. Rybnikova, N.; Furgoni, R. 2016. The new world atlas of artificial night sky brightness. Science Advances. 2(6). e1600377-e1600377.
- Falchi, F.; Cinzano, P.; Elvidge, C.; Keith, D. Haim A. 2011. Limiting the impact of lightpollution on human health, environment and stellar visibility (en línea). Journal of Environmental Management. Volume 92- Páginas 2714–2722. Consultado 15 jul. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971100226X>
- Fatal Light Awareness Program. 2018. Lights and nighttime collisions (en línea). Consultado 21 abr. 2018. Disponible en <http://www.flap.org/lights.php>
- Fernández, M. 2008. Contaminación Lumínica (en línea). Ambientico. Consultado 16 ago. 2016. Disponible en <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/183.pdf>
- Font, M. 2002. La ley catalana de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno (en línea). Consultado 13 abr. 2015. Disponible en <http://revistes.eapc.gencat.cat/index.php/rcdp/article/viewFile/2051/2351>
- García Gil, M. 2015. Predicción del impacto ambiental de la contaminación lumínica. Propuesta de una metodología para proyectos luminotécnicos de ingeniería. Tesis PhD. Barcelona, España, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). 209 p.
- García Gil, M., R. San Martín Paramo and H. S. Solano Lamphar. 2012. Contaminación lumínica. Una visión desde el foco contaminante: El alumbrado artificial. Barcelona, Iniciativa Digital Politécnica.
- García, M. 2011. Guía técnica de adaptación de las instalaciones de alumbrado exterior al decreto 357/2010 (en línea). Consultado 27 abr. 2015. Disponible en <http://www.famp.es/racs/ObsEficiencia/documentos/GUIA%2011.pdf>
- García, M. 2015. Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos. Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Gaston, K. J., J. Bennie, T. W. Davies and J. Hopkins. 2013. The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. Biol Rev Camb Philos Soc. 88(4): 912-927 p.
- Generalitat de Catalunya. 2010. Decálogo ambiental de la luz. Departamento de Territorio y Sostenibilidad. Oficina para la Prevención de la Contaminación Lumínica. España.
- Gómez, E. 2008. Ambientalismo, sustentabilidad urbana y desarrollo regional (en línea). Consultado 13 abr. 2015. Disponible en <http://www.journals.unam.mx/index.php/rmspys/article/download/42465/38579>

González, P. 2014. Telegestión del alumbrado público con tecnología LED. Estudio de un plan piloto para la Avenida Pio Jaramillo Alvarado de la Ciudad de Loja. Disponible en <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11941/1/González%20Loaiza%2C%20Pablo%20David.pdf>

Gortazar, L. 2007. El cielo nocturno, un nuevo valor ambiental para la conservación de las especies y de la calidad de vida. Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas. Centro UNESCO Canarias. Canarias, España.

Guía Técnica de aplicación: Eficiencia Energética en instalaciones de Alumbrado Exterior. REAL DECRETO 1890/2008. Edición: mayo 2013. Revisión 1.

Guido, M. 2013. De Relojes y Ritmos Biológicos. Bitácora Digital, (2)1:1-6 p.

Hernández R., Fernández C, Baptista P. 2003. Metodología de la Investigación. Editorial McGraw Hill. México.

Hernández, S. 2007. El sistema de alumbrado público en el municipio de Zacatecas (en línea). Universidad Autónoma de Zacatecas. Consultado 13 abr. 2015. Disponible en http://ice.uaz.edu.mx/c/document_library/get_file?uuid=ee621b97-f10b-4e2d-a67b-3f9a842d8456&groupId=54327

Herranz, C.; Ollé, J. M^a y Jáuregui, F. 2011. “La iluminación con LED el problema de la contaminación lumínica”. *Astronomía*, 44:36-43 p.

Herrera, K. 2009. Tesis: Modernización del Sistema de Alumbrado Público Compañía Nacional de Fuerza y Luz, para la Optimización del Servicio en el Área de Cobertura. Instituto Centroamericano De Administración Pública. San José, Costa Rica.

Horts, P. 1999. ¿Quién nos ha robado la vía láctea? El problema de la contaminación lumínica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 7(2):102-111 p.

Instituto Costarricense de Electricidad. 2017. Índice de cobertura eléctrica 2017 (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 3 jun. 2018. Disponible en <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/Electricidad/cobertura>

Instituto Costarricense de Electricidad. 2018. Cambio a luminarias de tecnología LED (en línea). Consultado 23 jul. 2018. Disponible en <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/b73f2e8a-4ada-4d62-92a5-478e6df3242b/Espec+luminarias+LED+rev+01-03-18+L8839+WEB.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m7DO9Cd>

Instituto Costarricense de Electricidad. 2018. Informe Evaluación del Plan Operativo Anual 2017 (en línea). Consultado 5 may. 2018. Disponible en <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/8ab4f8be-4bfb-4bae-afd3-c0ee328e5f01/Informe+Seguimiento+POI-2017+%28IV-Trimestre%29.pdf?MOD=AJPERES&CVID=migebBH>

Instituto de Astrofísica de Canarias. 2015. Resumen de Criterios a seguir en las instalaciones de alumbrado que afectan a la calidad del cielo de Tenerife y La Palma (en línea). Disponible en http://www.iac.es/adjuntos/otpc/RESUMEN_CRITERIOS%202015_OCTUBRE.pdf

- International Dark Sky. 2015. New IDA LED Lighting Practical Guide. Disponible en <http://darksky.org/the-promise-and-challenges-of-led-lighting-a-practical-guide/>
- International Dark-Sky Association (IDA). 2018. Fixture Seal of Approval (en línea). Consultado 5 ago. 2018. Disponible en <http://darksky.org/fsa/>
- Kandel, E. 1997. Motivación En: Neurociencia y Conducta. Kandel,E.R., Jessell,T.M. & Schwartz,J.H. (eds). Prentice Hall, Madrid. 653-670 p.
- Kaptsov, V.A. & Gerasev, V.F. & Deynego, V.N. 2015. Light pollution as the hygienic problem. *Gigiena i sanitaria*, 94:11-15 p.
- Kyba, C. C. M. 2018. Is light pollution getting better or worse? (En línea). *Nature Astronomy*. 2(4), 267–269 p. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41550-018-0402-7>
- Ley Orgánica del Ambiente n.o 7554. Art. 17. Diario Oficial La Gaceta. Costa Rica. 28 set. 1995.
- Loría, MA; Martínez, J. 2016. El sector eléctrico en Costa Rica (en línea). Academia de Centroamérica, Programa Visión 01-17. Consultado 01 jul. 2018. Disponible en <https://www.academiaca.or.cr/programa-vision/sector-electrico-costa-rica/>
- Malón, S. 2018. Flujo Hemisférico Superior instalado. Dispersión de la luz en la atmósfera (II) (en línea). Consultado 12 abr. 2018. Disponible en <https://smart-lighting.es/direccion-la-luz-fhsinst-dispersion-la-luz-la-atmosfera-ii/>
- Martín, V.; Dama, M.; González, J.; Pomares, H. 2014. Concepción de un sistema de iluminación inteligente en Smart Cities como Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Informática (en línea). Universidad de Granada. Granada, España. Consultado 22 may. 2018. Disponible en http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/32210/T12_N4_Revista_EAIC_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=
- Molina Flores, CV. 2015. Papel del Estado en la agricultura orgánica como salida de la crisis y pobreza en el campo. Tesis Lic. Ciudad de México, México, UNAM. 101 p.
- Morenos, O. 2009. Gestión ambiental urbana y desarrollo sustentable. Consideraciones desde un enfoque social sobre nuestro hábitat urbano (en línea). *Revista Electrónica Ambiente Total. Ecología, Geografía, Urbanismo y Paisaje*, v.1. Disponible en http://ambiente-total.ucentral.cl/pdf/at01_sustentabilidad.pdf
- Morrow, E.; Hutton, S. 2000. The Chicago Alley Lighting Project: Final Evaluation Report (en línea). Illinois Criminal Justice Information Authority. Consultado 10 jul. 2018. Disponible en <http://www.darksky.org/wp-content/uploads/2014/09/Chicago-Alley-Lighting-Project.pdf>
- Muñoz, J. 2013. Plan de negocios para equipo medidor de energía eléctrica orientado a la tecnología Smartgrid, en el mercado brasileño (en línea). Disponible en http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114021/cf-munoz_jp.pdf?sequence=3
- Narisada, K.; Schreuder, D. 2004. Light Pollution Handbook. Astrophysics and Space Science Library, vol 322. Springer, Dordrecht
- Ollé M, J. 2016. La evolución de las fuentes de luz. Qué podemos esperar. *Luces CEI* (57):24-30 p.

Organización de las Naciones Unidas. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (en línea). Consultado 15 may. 2017. Rio de Janeiro, Brasil. Disponible en <http://www.un.org/es/development/devagenda/sustainable.shtml>

Outon; P. 2004. Programas de intervención con disléxicos, Madrid España, Editorial CEPE S.L, 2004, pp.75.

Patiño, R. 2010. Marco Teórico de la Telegestión del servicio de Alumbrado Público. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/8788/1/299963.2010.pdf>

PEN. 2017. ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE. San José: Programa Estado de la Nación.

Pérez, E.; Pujol, R. 2012. Impacto de la planificación regional de la Gran Área Metropolitana sobre el crecimiento urbano y el mercado inmobiliario (en línea). Consultado 11 abr. 2015. Disponible en <http://workspace.unpan.org/sites/Internet/Documents/02.pdf>

Pérez, M. 2007. Efecto de un filtro amarillo sobre la función visual mesópica de sujetos emétopes y sujetos miopes operados de cirugía refractiva LASIK. (en línea). Consultado 15 abr. 2017. Madrid, España. Disponible en <http://biblioteca.ucm.es/tesis/fis/ucm-t29655.pdf>

Ponce, P. 2014. Proyecto fin de máster: Estudio de la Contaminación Lumínica y Eficiencia Energética en Alumbrado Exterior (en línea). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Colombia. Consultado 10 may. 2015. Disponible en: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4539/tfm382.pdf;sequence=1>

Pozo, J. 2014. Análisis de eficiencia energética del alumbrado público en el sector el girón en la Ciudad de Quito (en línea). Consultado 09 abr. 2015. Disponible en <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7667/1/CD-5628.pdf>

Rondón Médicci, María, Buitrago, Joaquín, & McCoy, Michael. (2009). Impacto de la luz artificial sobre la anidación de la tortuga marina *Dermochelys coriacea* (Testudines: Dermochelyidae), en playa Cipara, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 57(3), 515-528 p.

Royal Astronomical Society of Canada. 2013. Dark-sky Preserve Guidelines (en línea). Consultado 03 jun. 2018. Disponible en https://www.rasc.ca/sites/default/files/RASC%20DSP%20GUIDELINES%20-%20Summer%202013_0.pdf

Sánchez, A. 2016. La Contaminación Lumínica Lighting (en línea). Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía. IAA 50. Consultado 4 ago. 2018. Disponible en <http://revista.iaa.es/content/la-contaminaci%C3%B3n-lum%C3%ADnica>

Sánchez, A.; Díaz, R.; Monreal, J.; Martín, R. 2015. La contaminación lumínica. Efectos, retos y soluciones. *100cias@uned*, 8:62-68 p.

Steinbach R.; Perkins C.; Tompson L.; Johnson, S.; Armstrong, B.; Green, J.; Grundy, C.; Wilkinson, P.; Edwards, P. 2015. The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis (en línea). *J Epidemiol Community Health*. Disponible en <https://jech.bmj.com/content/early/2015/07/08/jech-2015-206012.info>

Stone, T. 2017. The Value of Darkness: A Moral Framework for Urban Nighttime Lighting (en línea). *Science and Engineering Ethics*, 24(2):607–628. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5876417/>

Tapia, A.; Sánchez, M.; J. Zamorano. 2015 .LICA-UCM lamps spectral database (en línea). Grupo UCM de Astrofísica Extragaláctica e Instrumentación Astronómica. Madrid, España. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/40930/>

Trejos, J.; Moya, E. 2009. *Introducción a la estadística descriptiva (3ed)*. Costa Rica. 280p.

Unión de Ornitólogos de Costa Rica. 2016. Resultados IV conteo anual de aves del valle central (en línea). Consultado 25 mzo. 2018. Disponible en <https://www.uniondeornitologos.com/?p=10315>

Universidad Estatal a Distancia. 2017. Científicos hallaron 347 especies en La Sabana (en línea). Consultado 4 mzo. 2018. Disponible en <https://www.uned.ac.cr/acontecer/a-diario/gestion-universitaria/2810-cientificos-hallaron-331-especies-de-aves-y-plantas-en-la-sabana>

Ventoso, B. 2017. *Nutrición y Cáncer: Empleo de la Melatonina en Terapia Nutricional Anticancerígena* (en línea). 1era. Ed. ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L. Consultado 4 ago. 2018. Disponible en https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2017/05/3_Nutrici%C3%B3n-y-c%C3%A1ncer.pdf

Zamora, María José. 2003. *Fortalecimiento de los gobiernos locales a la luz de la reforma al art. 170 de la Constitución Política*. Universidad de Costa Rica, Facultad de Derecho. San José, Costa Rica.

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista aplicada a municipalidades.

Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica
Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

ENTREVISTA A MUNICIPALIDAD DE [_____]

Fecha		Hora	
Lugar			
Aplicada por			
Aplicada a			

I Parte: Estudio sobre la Percepción de la Contaminación Lumínica

1. ¿La Unidad de Ambiente cuenta con una definición de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos o gestiones?
2. ¿Han identificado fuentes de CL a nivel organizacional, local, regional o país?
3. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación lumínica que se identificaron?
4. Como Unidad Ambiental ¿Cómo percibe ésta problemática a nivel nacional?
5. ¿Cómo se puede evitar o minimizar la CL en el cantón?
6. ¿Qué avances o medidas tiene el municipio sobre el tema?
7. ¿Es necesaria la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL? ¿Han implementado algunas? de ser positivo indique cuáles.

II Parte: Estudio sobre la gestión municipal del alumbrado público

1. ¿El alumbrado público del cantón se encuentra bajo concesión? ¿Con cuál empresa?
2. ¿Por cuánto tiempo se ha establecido dicha concesión?
3. ¿Se ha condicionado en alguna forma (estética, contractual o estructural) la prestación del servicio de alumbrado público dentro del cantón?
4. ¿El municipio recibe algún ingreso económico al establecer la concesión del alumbrado público?
5. ¿En qué aspectos se invierten los ingresos por concepto de concesión del alumbrado público en el cantón?

III Parte: Estudio sobre la gestión municipal en cuanto al alumbrado de espacios públicos

1. ¿El municipio cuenta con planes o programas sobre eficiencia energética?

2. ¿El municipio cuenta con recurso material y humano para brindar algún tipo de alumbrado público (iluminación de carreteras, parques, festivo, etc.)?
3. ¿El municipio ha participado directa o indirectamente en la iluminación de espacios públicos? ¿Administrativamente como es este proceso? ¿En cuántos proyectos?
4. ¿Se recibe algún ingreso por el concepto de alumbrado de espacios público?
5. ¿Bajo qué criterios técnicos ha construido o desarrollado proyectos de alumbrado público?
6. ¿Cuál sería el camino a seguir para la adopción de reglamentos o normativas para la prevención de la CL?

Anexo 2. Entrevista aplicada a empresas prestatarias del servicio de ALPU.

Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

ENTREVISTA A PRESTATARIOS DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO

Fecha		Hora	
Lugar			
Aplicada por			
Aplicada a			

I Parte: Estudio sobre la Percepción de la Contaminación Lumínica

1. ¿La empresa/cooperativa cuenta con una definición de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos o gestiones?
2. ¿Han identificado fuentes de CL a nivel organizacional, local, regional o país?
3. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación lumínica que se identificaron? ¿La empresa ha percibido en su área de concesión algunos de estos efectos?
4. Como empresa prestataria del Servicio de Alumbrado ¿Cómo percibe ésta problemática a nivel nacional?
5. ¿Cómo se puede evitar o minimizar la CL?
6. ¿Qué avances o medidas tiene la empresa sobre el tema?
7. ¿Cree necesarias la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL? ¿Han implementado algunas? de ser positivo indique cuáles.

II Parte: Estudio sobre la base técnica e institucional

1. Según el Plan Nacional de Energía 2015-2030 las distribuidoras eléctricas del país deben elaborar sus Planes de Alumbrado Público Eficiente ¿Cuenta la empresa con esta documentación?
2. ¿Existe un departamento que se encarga de la gestión del alumbrado público? ¿Cómo se encuentra conformado?

3. ¿Cuáles serían los principales retos a nivel institucional que deberían asumirse para adoptar medidas para evitar la CL?
4. ¿Se cuenta con personal capacitado para asumir proyectos y/o normativas para la prevención de la CL?
5. ¿Se cuenta con equipo y maquinaria especializada para asumir proyectos y/o normativas para la prevención de la CL?
6. ¿Cuáles considera que serían las medidas institucionales prioritarias para lograr una gestión sin CL?
7. ¿Se realiza alumbrado del tipo festivo? ¿Cuáles criterios técnicos se consideran para el diseño e implementación para este tipo de alumbrado?
8. ¿Cuál sería el camino a seguir para la adopción de reglamentos o normativas para la prevención de la CL tanto a nivel nacional como en su área de trabajo?
9. ¿Con qué capacidad de inversión económica se cuenta para reestructurar el parque de alumbrado público para el 2017 en función del uso sustentable de la luz? ¿Cuál ha sido la inversión en el quinquenio previo al 2016? y cómo se proyecta para el quinquenio posterior al mismo (utilice 2015 como año base).

II Parte: Diagnóstico del parque de alumbrado público

1. Consumo histórico de potencia del alumbrado público.
2. Lista de modelos de luminarias. Indicar potencia respectiva, cantidad instalada en el parque de alumbrado público y año de instalación.

MODELO	POTENCIA	CANTIDAD INSTALADA	AÑO DE INSTALACIÓN

3. Adjuntar ficha técnica de cada modelo de luminaria que se utiliza.
4. Indique los ángulos de instalación de las luminarias
5. Indique con qué frecuencia se realiza la limpieza del parque de alumbrado público
6. ¿Las condiciones climáticas son consideradas en el momento de realizar mediciones? ¿Cuáles son las idóneas?
7. ¿La empresa ha establecido alguna zonificación para el uso de distintos modelos de luminarias? Indique cuál.

8. Aplicación de lista de chequeo evaluativa de los criterios para un uso sustentable de la luz en el alumbrado público. La empresa/cooperativa cuenta con la capacidad técnica para evaluar los siguientes criterios de luminarias:

CRITERIOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA		Sí	No	Detalle (Unidades de medida, instrumento, fuente de la metodología)
Iluminancia vertical				
Limitación de luminarias brillantes en el campo de visión**				
LOR =proporción de salida total de la luminaria				
ULOR = proporción de la luz emitida hacia arriba de la luminaria				
Proporción de luz emitida hacia arriba %(ULR)=ULOR/LOR				
Máximo factor de utilización (k ≥ 30% ó u ≥ 40%)	k=			
k ≈ (nivel medio (lux)×superficie de cálculo (m ²))/(lúmenes instalados)	Nivel medio (lux) =			
	Superficie de cálculo m ² =			
u= k/(η (rendimiento de luminaria))	Lúmenes instalados=			
Luminancia media de la superficie L=(E×R)/π	L =luminancia media de la superficie (cd/m ²)			
	E = iluminancia media en una superficie (lux)			
	R = factor de reflectancia de la superficie.			
Temperatura de color T<3400 K				
Distribución de lúmenes				
Sistema de clasificación LCS	FL			
	BL			
	UL			
** Nota: Los límites se aplican a cada luminaria en las direcciones donde puede existir problemas de brillo en el campo de visión de los ciudadanos de manera más o menos constante.				

Anexo 3. Entrevista aplicada al IFAM.

Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

ENTREVISTA A INSTITUTO DE FOMENTO Y ASESORÍA MUNICIPAL

Fecha		Hora	
Lugar			
Aplicada por			
Aplicada a			

I Parte: Estudio sobre la Percepción de la Contaminación Lumínica

1. ¿El Instituto de Fomento y Asesoría Municipal ha definido para su organización el concepto de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos y gestiones?
2. ¿Han identificado fuentes de CL a nivel organizacional, local, regional o país?
3. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación lumínica que se identificaron?
4. Desde IFAM ¿Cómo percibe ésta problemática a nivel nacional? ¿Cuáles podrían ser las principales consideraciones respecto al tema desde su gestión?
5. ¿Cuáles actores sociales deben ser considerados en la articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL?
6. ¿Es necesaria la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL?

II Parte: Estudio sobre competencia del Instituto de Fomento y Asesoría Municipal en cuanto a la gestión de la CL

1. Dentro de los Objetivos Estratégicos del IFAM se ha considerado prioritario tanto la contribución al mejoramiento de los servicios públicos municipales, como la ejecución de proyectos y obras en beneficio del desarrollo local y regional ¿Con cuáles mecanismos institucionales cuenta el IFAM para lograr el fomento, la promoción y ejecución de proyectos? ¿Podría el IFAM involucrarse/ o se ha involucrado ya en proyectos relacionados al mejoramiento del Alumbrado Público?
2. El IFAM en su política de ambiente ha definido promover la protección de los recursos naturales y el uso sostenible de los mismos. ¿Con cuáles o qué tipos de experiencias ha desarrollado el IFAM sobre la gestión de servicios públicos desde un punto de vista ambientalmente sustentable? que podrían ser aplicadas al caso de la prestación del servicio de ALPU.
3. ¿El IFAM ha tramitado/recibido solicitudes de asesoría o intervención por efectos negativos del uso de la luz artificial?

4. Desde el IFAM ¿Qué papel podrían asumir las municipalidades para promover un uso sustentable de la luz en la prestación del servicio ALPU en sus territorios? ¿Están facultadas para cumplir con un papel fiscalizador en cuanto al uso de alumbrado público o exterior dentro de sus territorios?

Anexo 4. Entrevista aplicada al ARESEP.

Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica
Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

ENTREVISTA ARESEP
Centro de Desarrollo de la Regulación (CDR) e Intendencia de Energía

Fecha		Hora	
Lugar			
Aplicada por			
Aplicada a			

I Parte: Estudio sobre la Percepción de la Contaminación Lumínica

1. ¿La Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos ha definido para su organización el concepto de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos y gestiones?
2. ¿Han identificado fuentes de CL a nivel organizacional, local, regional o país?
3. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación lumínica que se identificaron?
4. Desde la ARESEP ¿Cómo percibe ésta problemática a nivel nacional? ¿Cuáles podrían ser las principales consideraciones respecto al tema desde su gestión?
5. ¿Cuáles actores sociales deben ser considerados en la articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL?
6. ¿Es necesaria la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL?

II Parte: Estudio sobre competencia de la ARESEP en cuanto a la gestión de la CL

1. En el Plan Nacional de Energía 2015- 2030 se indica que la ARESEP debe reflejar los costos de la protección ambiental en las etapas de producción, transformación y uso de la energía, ¿Cuáles son estos costos y cómo se determinaron?
2. ¿Cuál sería el proceso a seguir para integrar la prevención de la CL dentro de los criterios de calidad y protección ambiental que se contemplan para el cálculo tarifario del servicio de Alumbrado de Público?
3. Dentro de los principios regulatorios de la ARESEP, se establece que la determinación de las tarifas debe estar sujeta a los criterios de eficiencia económica, equidad social, sostenibilidad

ambiental y conservación de los recursos. 4. ¿Cómo se definen y desglosan los criterios de sostenibilidad ambiental?

5. ¿Qué papel ha asumido la ARESEP para promover un servicio de ALPU de calidad y en armonía con el ambiente?

6. ¿La ARESEP ha tramitado solicitudes de intervención por quejas relacionadas a la calidad del servicio de ALPU? ¿Cuáles han sido las principales solicitudes?

Anexo 5. Entrevista aplicada al MINAE.

Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

ENTREVISTA A MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA Viceministerio de Energía

Fecha		Hora	
Lugar			
Aplicada por			
Aplicada a			

I Parte: Estudio sobre la Percepción de la Contaminación Lumínica

1. ¿El Ministerio de Ambiente y Energía (SEPSE) ha definido para su organización el concepto de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos y gestiones?
2. ¿Han identificado fuentes de CL a nivel organizacional, local, regional o país?
3. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación lumínica que se identificaron?
4. Desde MINAE ¿Cómo percibe ésta problemática a nivel nacional? ¿Cuáles podrían ser las principales consideraciones respecto al tema desde su gestión?
5. ¿Cuáles actores sociales deben ser considerados en la articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL?
6. ¿Es necesaria la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL?

II Parte: Estudio sobre competencia del Ministerio de Ambiente y Energía en cuanto a la gestión de la CL

1. De acuerdo al Plan Nacional de Energía 2015 - 2030 y su objetivo específico 1.1.4., en el país existe la necesidad de fortalecer la capacidad del MINAE para lograr operativizar la eficiencia energética, esto mediante la instauración de una Dirección de Energía, y la atención de sus competencias y funciones como lo establece su reglamento; ¿Desde entonces la DE ha contado con alguna dotación técnica y económica para mejorar su desempeño?

2. De acuerdo con el decreto ejecutivo 35669 Reglamento Orgánico del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, serán funciones de la DE: Promover y administrar la legislación sobre conservación y uso racional de la energía, a efecto de obtener un desarrollo sostenido de ellos, y velar por su cumplimiento. ¿Cuáles han sido las principales acciones efectuadas desde la DE que permitan el cumplimiento de esta meta?

3. Según el decreto ejecutivo 35669, la DE también se encargará de: dictar, mediante decreto ejecutivo, normas y regulaciones, con carácter obligatorio, relativas al uso racional y la protección de la energía. Y en el Plan Nacional de Energía establece que se debe elaborar en conjunto con las distribuidoras eléctricas, una norma de alumbrado público para julio 2016, mediante la CONACE. ¿Cuál es el estado de la cuestión de esta meta? ¿Cuál es el grado de injerencia que tiene la DE respecto al avance de cumplimiento de este objetivo?

4. ¿Con cuáles mecanismos institucionales cuenta el MINAE para lograr el fomento, la promoción y ejecución de proyectos que velen por un uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público?

5. ¿Cuáles o qué tipos de experiencias ha desarrollado el MINAE sobre la gestión de servicios públicos desde un punto de vista ambientalmente sustentable? Que podrían ser aplicadas al caso de la prestación del servicio de ALPU.

6. ¿El MINAE ha tramitado/recibido solicitudes de asesoría o intervención por efectos negativos del uso de la luz artificial?

Anexo 6. Entrevista aplicada al DIGECA.

Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

ENTREVISTA DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE CALIDAD AMBIENTAL

Fecha		Hora	
Lugar			
Aplicada por			
Aplicada a			

I Parte: Estudio sobre la Percepción de la Contaminación Lumínica

1. ¿La Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA) ha definido para su organización el concepto de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos y gestiones?

2. ¿Han identificado fuentes de CL a nivel organizacional, local, regional o país?
3. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación lumínica que se identificaron?
4. Desde DIGECA ¿Cómo percibe ésta problemática a nivel nacional? ¿Cuáles podrían ser las principales consideraciones respecto al tema desde su gestión?
5. ¿Cuáles actores sociales deben ser considerados en la articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL?
6. ¿Es necesaria la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL?

II Parte: Estudio sobre competencia de la DIGECA en cuanto a la gestión de la CL

1. En muchos de los entes rectores entrevistados, coinciden en que la CL es un evento que requiere investigación, que permita determinar los efectos en el ecosistema y la salud humana, y así justificar la creación de normativas que eviten esos impactos. ¿La DIGECA cuenta con capacidad institucional para colaborar con la investigación de la CL en el país?
2. La excesiva y poco eficiente iluminación artificial genera impactos negativos en la salud humana, los ecosistemas y además se traduce en un significativo desperdicio energético y contribución al cambio climático. Considerando lo anterior ¿Podría la DIGECA diseñar una herramienta técnica y jurídica que contemple las medidas necesarios para mitigar esta problemática?
3. ¿Cuál es el camino a seguir para que la DIGECA diseñe e implemente las medidas anteriores?
4. ¿Qué implican las guías prácticas y guías técnicas dentro de las instituciones públicas? ¿Qué medidas se han tomado para que las instituciones incluyan estas guías dentro de sus gestiones?
5. ¿La DIGECA da seguimiento al proceso de implementación de las guías en las instituciones? ¿Cómo ha sido esta experiencia?
6. ¿Ha acompañado/supervisado las gestiones de los prestatarios del servicio de alumbrado público?
7. ¿Podría la DIGECA emitir una guía práctica para mejorar el desempeño ambiental en la prestación de servicios públicos, como el de alumbrado público?
8. Dentro de las funciones de la DIGECA está la apertura de espacios de concertación y diálogo con diversos actores sociales. ¿Cuáles son las razones que generan la necesidad de abrir un espacio de concertación? ¿Cómo funcionan y cuáles son los resultados que se esperan generar a partir de estos espacios? Considerando lo expuesto sobre la CL ¿Es factible abrir un espacio de concertación que incluya dicha temática?

Anexo 7. Entrevista aplicada al MOPT.

Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

ENTREVISTA A MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES

Fecha		Hora	
Lugar			
Aplicada por			
Aplicada a			

I Parte: Estudio sobre la Percepción de la Contaminación Lumínica

1. ¿El Ministerio de Obras Públicas y Transportes cuenta con una definición de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos o gestiones?
2. ¿Ha identificado fuentes de CL a nivel organizacional, local, regional o país?
3. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación lumínica que se identificaron?
4. Desde MOPT ¿Cómo percibe ésta problemática a nivel nacional? ¿Cuáles podrían ser las principales consideraciones respecto al tema desde su gestión?
5. ¿Cuáles actores sociales deben ser considerados en la articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL?
6. ¿Es necesaria la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL?

II Parte: Estudio sobre competencia del Ministerio de Obras Públicas y Transportes en cuanto a la gestión de la CL

1. Como parte de su misión el MOPT se ha propuesto ejecutar obras de infraestructura del transporte, seguras y eficientes, con el objetivo de contribuir al crecimiento económico - social en armonía con el ambiente. ¿Cuáles criterios técnicos emplea el MOPT para garantizar la seguridad y eficiencia en las infraestructuras viales?
2. ¿Cómo se interrelaciona el MOPT con los entes prestatarios del servicio de alumbrado público durante la planificación, construcción y mejora de las carreteras y caminos? ¿Brinda lineamientos o condiciones respecto al Alumbrado Público y objetos luminosos (como pantallas) en las vías públicas?
3. ¿El ministerio ha tramitado/recibido denuncias por efectos negativos del uso de la luz artificial?
4. ¿Cuáles actores sociales deben ser considerados en la articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL?

5. ¿Con cuáles experiencias cuenta el MOPT donde se hayan incorporado espacios para la participación ciudadana? ¿Cree necesarias la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL?

6. ¿El Ministerio ha considerado el Alumbrado Público como parte de la infraestructura del transporte requerida?

Anexo 8. Entrevista aplicada al SINAC.

Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

ENTREVISTA A SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN (SINAC)

Fecha		Hora	
Lugar			
Aplicada por			
Aplicada a			

I Parte: Estudio sobre la Percepción de la Contaminación Lumínica

1. ¿El SINAC ha definido para su organización el concepto de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos y gestiones?
2. ¿Han identificado fuentes de CL a nivel organizacional, local, regional o país?
3. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación lumínica que se identificaron?
4. Desde la visión del SINAC ¿Cómo percibe ésta problemática a nivel nacional? ¿Cuáles podrían ser las principales consideraciones respecto al tema desde su gestión?
5. ¿Cuáles actores sociales deben ser considerados en la articulación de estrategias nacionales para el control y prevención de la CL?
6. ¿Es necesaria la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL?

II Parte: Estudio sobre competencia del Sistema Nacional de Áreas de Conservación en cuanto a la gestión de la CL

1. El SINAC se maneja bajo un concepto de “conservación integral” ¿Qué define el SINAC por este concepto?
2. ¿Qué papel debe asumir el SINAC para promover un uso sustentable de la luz dentro de los parques nacionales, refugios de vida silvestre, reservas biológicas/forestales, y áreas periféricas a éstas?

3. ¿Cuáles o qué tipos de experiencias/estrategias se han desarrollado en vinculación con la gestión del servicio de ALPU?
4. ¿El SINAC ha recibido solicitudes de asesoría o intervención por efectos negativos del uso de la luz artificial?
5. Desde el SINAC, ¿Cuáles serían las decisiones necesarias para la implementación de acciones que protejan la biodiversidad de los efectos de la CL?

Anexo 9. Entrevista aplicada al LEE- ICE.

Propuesta de conceptualización de una normativa para el uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica
Tesis para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria

ENTREVISTA A LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - ICE

Fecha		Hora	
Lugar			
Aplicada por			
Aplicada a			

I Parte: Estudio sobre la Percepción de la Contaminación Lumínica

1. ¿El laboratorio cuenta con una definición de contaminación lumínica (CL) en sus reglamentos o gestiones?
2. ¿Han identificado fuentes de CL a nivel organizacional, local, regional o país?
3. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación lumínica que se identificaron?
4. Como organización vinculada a la verificación de equipo para alumbrado público ¿Cómo percibe ésta problemática a nivel nacional?
5. ¿Cómo se puede evitar o minimizar la CL?
6. ¿Qué avances o medidas ha tomado el laboratorio sobre el tema?
7. ¿Cree necesarias la creación e implementación de estrategias de vinculación con la población para evitar la CL? ¿Han implementado algunas? de ser positivo indique cuáles.
8. ¿Cuáles y en cuantos proyectos el ICE ha implementado criterios técnicos para evitar o disminuir la contaminación lumínica?
9. ¿En cuánto a las leyes, directrices, reglamentación técnica y oferta de servicios que atiende el LEE, desde cuál de estas se podría hacer un abordaje general o específico de la CL?
10. Existen nuevas tecnologías de iluminación LED que garantizan eliminar el espectro de emisión alrededor de los 440 Nm, siendo estas de temperaturas más cálidas (2200K) y aptas para el ambiente y la salud pública, con un alto índice de reproducción de color. ¿Cómo valora estas tecnologías, y cuales medidas son necesarias para que sea viable su utilización en Costa Rica?

II Parte: Estudio sobre la base técnica e institucional

1. ¿Cómo se encuentra conformado el equipo interdisciplinario del laboratorio?
2. ¿Cuáles serían los principales retos que deberían asumirse para adoptar medidas para evitar la CL?
3. ¿Se cuenta con personal capacitado para asumir proyectos y/o normativas para la prevención de la CL?
4. ¿Se cuenta con equipo y maquinaria especializada para asumir proyectos y/o normativas para la prevención de la CL?
5. ¿Cuál sería el camino a seguir para la adopción de reglamentos o normativas para la prevención de la CL tanto a nivel nacional como en su área de trabajo?
6. ¿Con qué capacidad de inversión económica se cuenta para reestructurar el laboratorio en función de evaluar equipos y materiales que permitan un uso sustentable de la luz?

III Parte: Diagnóstico capacidad evaluativa de criterios para un uso sustentable de la luz en el alumbrado público.

1. ¿El laboratorio cuenta con la capacidad técnica para evaluar luminarias respecto a los siguientes criterios de técnicos?

CRITERIOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA		Sí	No	Detalle (Unidades de medida, instrumento, fuente de la metodología)
Iluminancia vertical				
Limitación de luminarias brillantes en el campo de visión**				
Proporción de luz emitida hacia arriba	$\%(ULR)=ULOR/LOR$			
ULOR = proporción de la luz emitida hacia arriba de la luminaria				
LOR =proporción de salida total de la luminaria				
Máximo factor de utilización ($k \geq 30\%$ ó $u \geq 40\%$)	$k=$			
$k \approx (\text{nivel medio (lux)} \times \text{superficie de cálculo (m}^2)) / (\text{lúmenes instalados})$	Nivel medio (lux) =			

	Superficie de cálculo m ² =			
$u = k/(\eta)$ (rendimiento de luminaria))	Lúmenes instalados=			
Luminancia media de la superficie $L=(E \times R)/\pi$	L =luminancia media de la superficie (cd/m ²)			
	E = iluminancia media en una superficie (lux)			
	R = factor de reflectancia de la superficie.			
Temperatura de color T<3400 K				
	Distribución de lúmenes			
Sistema de clasificación LCS	FL			
	BL			
	UL			
** Nota: Los límites se aplican a cada luminaria en las direcciones donde puede existir problemas de brillo en el campo de visión de los ciudadanos de manera más o menos constante.				

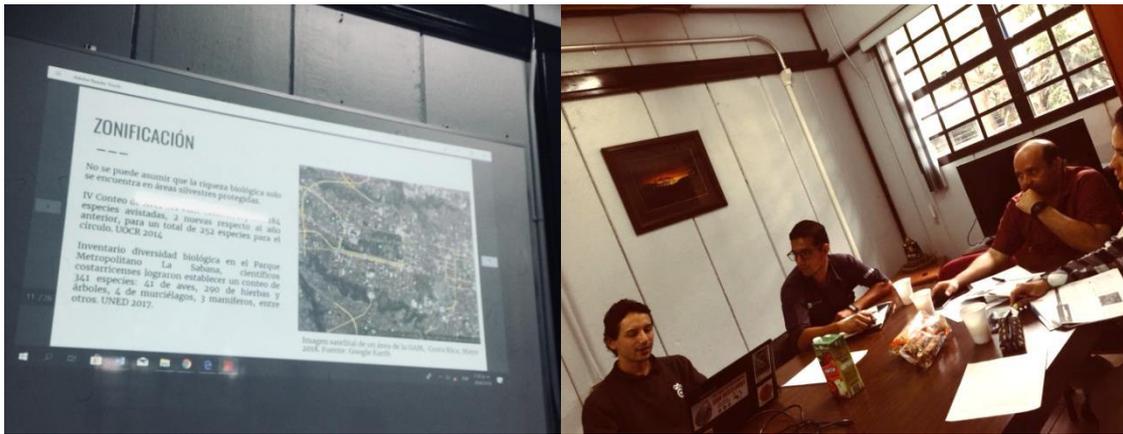
Anexo 10. Caracterización por tipo y potencia del Parque de Alumbrado Público en Costa Rica.
Fuente: ARESEP Febrero 2017.

Empresa Distribuidora	Tipo de tecnología	Potencia Unitaria (W)	Cantidad de luminarias	Potencia Total instalada (KW)
COOPEGUANACASTE	LED	54,0	6.263,0	338,2
		100,0	9.538,0	953,8
	Sodio	125,0	37,0	4,6
		175,0	2.219,0	388,3
		250,0	100,0	25,0
		400,0	20,0	8,0
		1.000,0	1,0	1,0
COOPEALFARORUIZ	Sodio	100,0	719,0	71,9
	Mercurio	175,0	520,0	91,0

		250,0	23,0	5,8
	LED	54,0	194,0	10,5
CNFL	MERCURIO	175,0	8,0	1,4
		250,0	4.715,0	1.178,8
		400,0	5.565,0	2.226,0
	Sodio	100,0	3.404,0	340,4
		150,0	67.405,0	10.110,8
		250,0	13.169,0	3.292,3
		400,0	335,0	134,0
	Sodio blanco	100,0	53,0	5,3
		150,0	259,0	38,9
		250,0	70,0	17,5
	Halogenuro metálico	70,0	38,0	2,7
		100,0	204,0	20,4
		140,0	135,0	18,9
		150,0	563,0	84,5
		175,0	12,0	2,1
		250,0	331,0	82,8
		400,0	31,0	12,4
		1.000,0	17,0	17,0
	Inducción	150,0	13,0	2,0
		200,0	391,0	78,2
	LED	76,0	23,0	1,7
		100,0	2.337,0	233,7
		113,0	18,0	2,0
116,0		10,0	1,2	
200,0		27,0	5,4	
JASEC	Sodio	100,0	12.578,0	1.257,8
		150,0	1.843,0	276,5
		175,0	6,0	1,1
		215,0	158,0	34,0
		250,0	1.635,0	408,8
		400,0	407,0	162,8
	LED	101,0	551,0	55,7
		161,0	164,0	26,4
		168,0	47,0	7,9
		198,0	132,0	26,1
		296,0	370,0	109,5
	Mercurio	100,0	18,0	1,8
		150,0	10,0	1,5
		175,0	21,0	3,7
		215,0	21,0	4,5
250,0		28,0	7,0	

		100,0	5,0	0,5
	Halogenuro metálico	150,0	192,0	28,8
		250,0	6,0	1,5
		400,0	19,0	7,6
ESPH	LED	74,0	179,0	13,2
		100,0	7.463,0	746,3
	Sodio	150,0	3.879,0	581,9
		250,0	2.807,0	701,8
ICE		100,0	145.914,0	14.591,4
	Sodio	150,0	50.403,0	7.560,5
		250,0	552,0	138,0
		100,0	17,0	1,7
	Reflector	400,0	37,0	14,8
	LED	110,0	91,0	10,0
COOPESANTOS		160,0	426,0	68,2
	Sodio	117,1	572,0	67,0
		292,7	5,0	1,5
	Mercurio	117,1	197,0	23,1
		204,9	122,0	25,0
	LED	54,7	8.461,0	462,4
COOPELESCA	Sodio	174,0	17,0	3,0
		116,0	1.343,0	155,8
	Mercurio	116,0	309,0	35,8
	LED	57,0	28.078,0	1.600,4
Total			387.850,0	49.033,1

Anexo 11. Mesa de discusión realizada el día 30 de agosto, 2017.



Anexo 12. Instrumento utilizado para la recolección de observaciones y recomendaciones por parte de expertos.

Mesa de discusión: "Propuesta de normativa para un uso sustentable de la luz en la prestación del servicio de alumbrado público en Costa Rica"

Medidas aplicables	Observaciones y recomendaciones
Zonificación	
Eficiencia, eficacia luminosa y rendimiento de la luminaria	
Integración de sistemas inteligentes de iluminación	
Iluminancia vertical	
Intensidad luminosa	
Proporción de luz emitida hacia arriba	
Ángulos de instalación	
Direccionalidad	
Limitación del espectro de emisión de las fuentes de luz	

Pertinencia de la propuesta

Anexo 13. Ficha de recolección de datos.

Unidad de análisis	Nombre de la organización	Técnica o instrumento por aplicar	Contacto	Nivel de gestión a diagnosticar	Estatus
Ente rector	MINSA	Entrevista	Ricardo Morales Vargas / Elizabeth González Pérez	Dirección de Protección al Ambiente Humano	Aplicada
Ente rector	ARESEP	Entrevista	Víctor Valverde Espinoza / Jorge Espinoza Gutiérrez	Centro de desarrollo de regulación e intendencia de energía	Aplicada
Ente rector	MINAE	Entrevista	Alfonso Herrera Herrera	Secretaría de planificación Sub Sector Energía	Aplicada
Ente rector	IFAM	Entrevista	Maritza Fallas Garbanzo	Servicios técnicos y financiamiento	Aplicada
Ente rector	MOPT	Entrevista	Jesús Zamora	Departamento de inspección vial y demoliciones	Aplicada
			Roque Campos Anchía	Proceso gestión ambiental y social para los proyectos del sector transporte e infraestructura	Aplicada
Ente rector	SINAC	Entrevista	Juan Diego Jiménez Villalta/ Jenny Asch Corrales	Departamento Infraestructura Física/ Conservación y uso de la biodiversidad	Aplicada
Ente rector	DIGECA	Entrevista	Luis Edo. Rodríguez Ugalde	Dirección de Gestión de Calidad Ambiental	Aplicada
Ente rector	Laboratorio de Eficiencia Energética y Unidad de Sostenibilidad Ambiental del ICE	Entrevista	Marco Virgilio Jiménez Valverde	Dirección del laboratorio	Aplicada
Municipalidad	San Carlos	Entrevista	Carlos Andrey Salas Ramírez	Gestión Ambiental	Aplicada
Municipalidad	Belén	Entrevista	Esteban Salazar Acuña	Unidad Ambiental	Aplicada
Municipalidad	Santa Ana	Entrevista	Helmut Johnson Madrigal	Gestión Ambiental	Aplicada
			Alexander Robles Delgado	Gestión de Servicios Públicos y Ambientales	Aplicada

Municipalidad	Moravia	Entrevista	N.A.	N.A.	Denegada
Municipalidad	Escazú	Entrevista	Natalia Barrantes	Departamento Gestión Ambiental	Aplicada
			Carlos Fonseca	Departamento Obra Pública	Aplicada
Municipalidad	Cartago	Entrevista	Óscar López	Planificación Urbana	Aplicada
Municipalidad	San José	Entrevista	Vladimir Klotchkov	Dirección Planificación Urbana	Aplicada
Municipalidad	Curridabat	Entrevista	Carlos Rodolfo Núñez Castro	Servicios Ambientales	Aplicada
Municipalidad	Heredia	Entrevista	Elizette Montero Vargas	Dirección Inversión Pública	Aplicada
Municipalidad	San Rafael	Entrevista	Marianela Rodríguez	Unidad de Gestión Ambiental	Aplicada
Prestatario del servicio ALPU	CNFL	Entrevista / lista de chequeo	Elena Amuy	Unidad Alumbrado Público	Aplicada
			Steven Sánchez	Unidad Alumbrado Público	
Prestatario del servicio ALPU	ICE	Entrevista / lista de chequeo	Víctor Castro Rivas	Unidad Gestión Ambiental	Aplicada
			Vicente Aguilar	Unidad distribución y comercialización	Aplicada
Prestatario del servicio ALPU	ESPH S.A.	Entrevista / lista de chequeo	Juan Diego Álpizar A.	Departamento Alumbrado Público	Aplicada
Prestatario del servicio ALPU	COOPESANTOS R.L.	Entrevista / lista de chequeo	Jorge Alvarado Mora	Encargado Servicio Alumbrado Público	Aplicada
Prestatario del servicio ALPU	COOPELESCA R.L.	Entrevista / lista de chequeo	Ismael Gutiérrez Alfaro	Centro de Control	Aplicada
Prestatario del servicio ALPU	JASEC	Entrevista / lista de chequeo	Carlos Bonilla Elizondo	Departamento de Alumbrado Público	Aplicada
Prestatario del servicio ALPU	COOPEALFARORUIZ R.L.	Entrevista / lista de chequeo	Oviedo Mora Bayron Gerardo	Departamento de Ingeniería Eléctrica	Aplicada
Prestatario del servicio ALPU	COOPEGUANACASTE R.L.	Entrevista / lista de chequeo	Carlos Cascante Sánchez	Departamento de mantenimiento	Aplicada
Sectores varios (público-privado)	Municipalidad de San José, ICE, ARESEP, Ecological	Recolección de observaciones y recomendaciones	Jaqueline Vargas (Municipalidad San José) Víctor Castro (ICE) Alejandro Bonilla (Ecological)	NA	Sesión realizada