



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL



**“ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN LAS ADYACENCIAS
DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL SAN PEDRO MÁRTIR,
MUNICIPIO DE ENSENADA, B. C., MÉXICO”**

Trabajo terminal como requisito para obtener el diploma de la
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL
presenta

Elvis Evelyn Puro Coa

Ensenada, Baja California, octubre de 2019

Ensenada, Baja California, 15 de octubre de 2019

Puro Coa Elvis Evelyn

Presente.

Por este conducto le informo que después de haber leído su trabajo terminal titulado: **"ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN LAS ADYACENCIAS DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL SAN PEDRO MÁRTIR, MUNICIPIO DE ENSENADA, B. C., MÉXICO"**; considero que cumple con los requisitos necesarios para aprobar la fase escrita de su examen reglamentario.

Sin más por el momento quedo de usted para cualquier aclaración.

Atentamente,



Dr. Georges Seingier

Director



M. C. Fernando Ávila Castro

Sinodal



Dr. Alejandro García Gastelum

Sinodal

Resumen

La contaminación lumínica es el brillo del cielo originado por los flujos luminosos de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas (BOE, 2001). Este efecto del abrillantamiento afecta los observatorios astronómicos al interferir y disminuir la calidad de las observaciones de estrellas y amenazaba la viabilidad de los observatorios situados en zonas densamente pobladas. En este caso, el Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir (OAN-SPM) ubicado en el municipio de Ensenada, Baja California. Es el observatorio astronómico más importante en el país que trabaja en el espectro visible en México¹ y a pesar de sus excelentes cielos oscuros puede ser afectado por la iluminación exterior de los centros poblados ubicados en sus adyacencias. El objetivo de este trabajo es analizar la gestión de la problemática de la contaminación lumínica en las adyacencias del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir correspondiente al municipio de Ensenada, Baja California. Para ello se realizó una revisión del marco legal establecido en este municipio, el cual es el primero de México para la legislación de esta problemática. Se realizó una caracterización de la problemática considerando el alumbrado público por ser objeto de la reglamentación aprobada inéditamente en México en el año 2006 y denominado Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada, Baja California. Este documento es de orden público y de observancia general cuyo objetivo es “prevenir, reducir y evitar la contaminación lumínica que se proyecta hacia la oscuridad natural del cielo y luz intrusa en las zonas urbanas de Ensenada, Baja California, que es ocasionada por el alumbrado público, privado y medios de publicidad que pueden afectar las investigaciones del Observatorio Astronómico Nacional establecido en la Sierra de San Pedro Mártir de este municipio y operado por el Instituto de Astronomía de la UNAM, así como promover el ahorro y consumo eficiente en el uso de la energía eléctrica y la utilización de energías alternativas” (Artículo 1 POEBC, 2017). Se seleccionó el alumbrado público como aspecto a evaluar por ser la primera acción de gestión que se toma a nivel local y nacional y que incluye además dentro de este municipio la Zona de Máxima Protección del OAN-SPM, correspondiente al área incluida en un radio de 100 kilómetros tomando como centro la ubicación del OAN. Como metodología se realizó una recopilación documental del marco legal local desarrollado para la protección del medio nocturno frente a la contaminación lumínica; una comparación de las normativas aprobadas posteriores a al reglamento del municipio de Ensenada; un SIG que permitió describir la distribución espacial de las fuentes de contaminación lumínica del alumbrado público antes del proceso de sustitución de las luminarias públicas que generaban contaminación lumínica en las adyacencias del OAN-SPM. Al evaluar las 25,000 luminarias LED instaladas, destaca que en la Zona de Máxima Protección del OAN-SPM no se sustituyeron todas las luminarias y las sustituidas no cumplieron con todos los requisitos del reglamento porque poseen una emisión de la luz blanca con temperaturas superiores al valor recomendado. Se emiten unas recomendaciones en cuanto al monitoreo de los tres aspectos que motivan el reglamento: ahorro y consumo eficiente de energía, así como reducción de la contaminación lumínica.

Palabras claves: Observatorio astronómico, contaminación lumínica, alumbrado público, alumbrado exterior, calidad astronómica de un sitio, sistema de iluminación, ley del cielo. San Pedro Mártir, Reglamento de Prevención y Control, Municipio de Ensenada

¹Otros observatorios ópticos son: Observatorio Astronómico Nacional en Tonantzintla (OAN-T) operado por el IA-UNAM con un telescopio de 1 m, y el Observatorio Astrofísico Guillermo Haro en Cananea Sonora operado por el INAOE con un telescopio de 2m.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de manutención.

A la Universidad Autónoma de Baja California por la beca de colegiatura.

Al Dr. Franco Della Prugna por su asesoría y conducción en el estudio de la protección de los cielos oscuros para la observación astronómica en el Observatorio Astronómico Nacional Llano del Hato en Venezuela.

Al Dr. Georges Seingier, director en este proyecto, por sus constantes y valiosos consejos, paciencia, guía y orientación a lo largo de este trabajo y estudios en la especialidad.

Al M.C. Fernando Ávila Castro, del Instituto de Astronomía de la UNAM, por su paciencia, conocimientos y guía en este proyecto.

Al Dr. Alejandro García Gastelum por su iniciativa e interés en esta temática y motivación para que este proyecto fuese posible.

A todo el equipo de profesionistas del Departamento XXII Ayuntamiento por su apoyo y asesoría en las prácticas profesionales y por compartirme sus conocimientos en materia de gestión municipal.

Al grupo docente de la Especialidad en Gestión Ambiental en conjunto con todos mis compañeros por compartir sus conocimientos y experiencias en su desempeño profesional.

A los Amigos Senderistas de Ensenada por mostrarme los valores de la tierra costera y desértica.

A Jesús por su permanente apoyo en esta nueva etapa de nuestra vida.

Índice

Resumen.....	3
Agradecimientos	4
Índice.....	5
Índice de tablas.....	7
Índice de figuras	8
Introducción	9
Marco teórico y conceptual	11
1. Fundamentos técnicos del alumbrado público.....	11
2. La contaminación lumínica y sus fuentes	21
3. Métodos de cuantificación de la contaminación lumínica.....	25
4. Áreas de protección lumínica.....	26
5. Marco normativo en materia de contaminación lumínica.....	27
La protección de los cielos en el contexto internacional.....	27
Contexto Nacional Mexicano.....	33
Contexto local en Baja California.....	35
6. Antecedentes de la conservación de los cielos oscuros.....	38
Planteamiento del problema.....	44
Objetivos	46
Área de estudio.....	47
1. Caracterización del área del observatorio	47
2. Delimitación y caracterización del área adyacente del observatorio	51
Metodología.....	57
1. Revisión documental.....	57
2. Análisis de actores.....	57
3. Análisis de la Reglamentación para la Prevención de la Contaminación Lumínica.....	59
4. Caracterización del sistema de alumbrado público exterior del municipio Ensenada.....	59
5. Síntesis y representación de la información	59
Resultados y discusión	60
1. Análisis de actores.....	60
2. Análisis de la Reglamentación para la Prevención de la Contaminación Lumínica.....	64

3. Características del alumbrado público del municipio Ensenada	73
4. Evaluación de la política de sustitución de luminarias en el municipio Ensenada en el marco del Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica (2006).....	79
Conclusiones	82
Recomendaciones.....	83
Referencias	84
Glosario	90

Índice de tablas

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS LÁMPARAS DE ILUMINACIÓN	14
TABLA 2. NIVELES DE ILUMINACIÓN PARA TAREAS VISUALES Y ÁREAS DE TRABAJO.....	17
TABLA 3. NIVELES DE ILUMINACIÓN VIAL SUGERIDOS POR EL LA OFICINA TÉCNICA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO (OTPC) DE CANARIAS, ESPAÑA.	18
TABLA 4. DESCRIPCIÓN DE ZONAS MEDIOAMBIENTALES ADOPTADAS POR LA CIE.....	27
TABLA 5. EVENTOS INTERNACIONALES EN MATERIA DE LA PROTECCIÓN DE LOS CIELOS OSCUROS Y LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	28
TABLA 6. NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM) EN MATERIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA E ILUMINACIÓN	34
TABLA 7. DATOS DE BRILLO DEL CIELO NOCTURNO EN EL OAN, 2013	40
TABLA 8. MEDIDAS DE BRILLO DEL CIELO NOCTURNO PARA SPM EL AÑO 2013.....	42
TABLA 9. INFRAESTRUCTURA CIENTÍFICA DE TELESCOPIOS EN EL OAN-SPM.....	51
TABLA 10. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN LOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, 2010.....	53
TABLA 11. CENTROS POBLADOS URBANOS DEL MUNICIPIO ENSENADA	54
TABLA 12. NÚMERO DE CENTROS POBLADOS (URBANOS Y RURALES) EN LA ZONA DE MÁXIMA PROTECCIÓN DEL OAN-SPM	56
TABLA 13. CENTROS POBLADOS URBANOS DEL MUNICIPIO DE ENSENADA UBICADOS EN LA ZONA DE MÁXIMA PROTECCIÓN DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL SAN PEDRO MÁRTIR.....	56
TABLA 14. ESQUEMA DE LAS RELACIONES DE PODER E INVOLUCRAMIENTO.	58
TABLA 15. IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTORES INVOLUCRADOS EN LA GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN EL MUNICIPIO DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA.....	62
TABLA 16. MATRIZ DE RELACIONES DE PODER Y EMPODERAMIENTO	63
TABLA 17. ASPECTOS PRESENTES EN LOS REGLAMENTOS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA DE LOS MUNICIPIOS ENSENADA, MEXICALI Y TIJUANA, BAJA CALIFORNIA.	68
TABLA 18. COMPARACIÓN DEL CONTENIDO EN LOS REGLAMENTOS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA DE LOS MUNICIPIOS ENSENADA, MEXICALI Y TIJUANA, BAJA CALIFORNIA.....	71
TABLA 19. LUMINARIAS PÚBLICAS EN EL MUNICIPIO DE ENSENADA PREVIO A LA MODERNIZACIÓN	74
TABLA 20. COMPARACIÓN DE LUMINARIAS CENSADAS Y SUSTITUIDAS.....	74
TABLA 21. POTENCIA DE LAS LUMINARIAS CON TECNOLOGÍA LED EN EL MUNICIPIO DE ENSENADA. 2016.....	76
TABLA 22. INDICADORES CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN.	79
TABLA 23. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO EN LA POLÍTICA DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO.	79

Índice de figuras

FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN.....	12
FIGURA 2. ESPECTROS DE EMISIONES DE LÁMPARAS DE ILUMINACIÓN.....	15
FIGURA 3. EFICIENCIA PROMEDIO EN ILUMINACIÓN (PRODUCCIÓN DE LUZ POR UNIDAD DE ENERGÍA CONSUMIDA) Y COSTOS POR LÁMPARA.....	16
FIGURA 4. EJEMPLOS DE DISTRIBUCIÓN LUMÍNICA DE LAS LÁMPARAS: (A) GENERANDO CONTAMINACIÓN LUMÍNICA; (B) SIN GENERAR CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	18
FIGURA 5. CARACTERIZACIÓN DE LA EMISIÓN CONTAMINANTE SEGÚN LA SALIDA DE LA INTENSIDAD LUMINOSA	20
FIGURA 6. TIPOS DE EMISIÓN ESPECTRAL DE LAS LED	21
FIGURA 7. EXPLICACIÓN DEL PROCESO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA: LA LUZ ESCAPA DE LAS CIUDADES (ARRIBA IZQUIERDA); REFLEXIÓN O REFRACCIÓN DE LA LUZ EN LAS PARTÍCULAS QUE FORMAN LA ATMÓSFERA (ARRIBA DERECHA); RESPLANDOR LUMINOSO (ABAJO).....	22
FIGURA 8. INCREMENTO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA CON EL CRECIMIENTO DE LA CIUDAD DE LOS ÁNGELES (USA), VISTO DESDE EL MONTE WILSON PARA LOS AÑOS 1908, 1988 Y 2002.....	23
FIGURA 9. ATLAS MUNDIAL DEL BRILLO ARTIFICIAL DEL CIELO (WORLD MAP OF A ARTIFICIAL SKY BRIGHTNESS).....	24
FIGURA 10. BRILLO ARTIFICIAL DEL CIELO NOCTURNO DE NORTE AMÉRICA.	24
FIGURA 11. INICIATIVAS LEGALES INTERNACIONALES PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	31
FIGURA 12. REGLAMENTACIONES APROBADAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN BAJA CALIFORNIA.....	37
FIGURA 13. MAPA DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA DEL NORTE DE BAJA CALIFORNIA.....	40
FIGURA 14. VISTA AL NORTE DEL OAN - SPM Y DIFERENTES POBLACIONES QUE SON FOCOS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA A 150 Y 200 KILÓMETROS.....	41
FIGURA 15. DATO DEL BRILLO DEL CIELO NOCTURNO DEL OAN – SPM PARA EL DÍA 20-03-19.....	42
FIGURA 16. DIAGRAMA DE SISTEMAS AL ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA Y SU AFECTACIÓN A LOS OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS	46
FIGURA 17. MAPA DE UBICACIÓN DEL OAN-SPM	48
FIGURA 18. HITOS HISTÓRICOS EN LA ASTRONOMÍA MEXICANA	49
FIGURA 19. MUNICIPIO DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA	52
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE LOS CENTROS POBLADOS EN LA ZONA DE MÁXIMA PROTECCIÓN DEL OAN – SPM (100 KM), MUNICIPIO DE ENSENADA.....	55
FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO DE ENSENADA.....	75
FIGURA 22. LUMINARIAS SUSTITUIDAS EN EL MARCO DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL MUNICIPIO ENSENADA	77
FIGURA 23. LUMINARIAS LED SUSTITUIDAS Y NO SUSTITUIDAS PROYECTO MODERNIZACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE ENSENADA CON TECNOLOGÍA LED.....	78
FIGURA 25. ALUMBRADO PÚBLICO ACTUAL EN LA ZONA DE MÁXIMA PROTECCIÓN DEL OAN – SPM.....	80

Introducción

Los cielos oscuros son un valioso patrimonio cultural, ambiental y científico de la humanidad representado en los grandes monumentos observacionales de la antigüedad y más recientemente con el desarrollo de sistemas de valoración de oscuridad natural, la búsqueda de lugares especiales para el establecimiento de grandes telescopios observacionales, la contemplación del paisaje del cielo nocturno como una nueva forma de turismo contemplativo y el decreto de creación de áreas de protección lumínica. En estas iniciativas se destacan las diferentes categorías de la calidad astronómica del cielo y los niveles de oscuridad natural del cielo nocturno.

La pérdida de los cielos oscuros es especialmente notable cuando se presenta un gran evento astronómico y la búsqueda de distantes sitios ideales para su visión hace evidente que el brillo del cielo en las ciudades limita e impide la observación de los objetos celestes poco luminosos.

Ese brillo del cielo nocturno es conocido como contaminación lumínica y es originado por los flujos luminosos de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas (BOE, 2001). Adicionalmente a la emisión de luz en pequeños ángulos se suma la dispersión en la atmósfera de la luz emitida creando un efecto de adición lumínica que abriga el cielo, incluso aunque este lejos de la fuente y es por esta razón que a pesar de la distancia de una ciudad a 100 kilómetros de un observatorio afecta la calidad del cielo.

Este efecto del abrigamiento del cielo nocturno afecta las observaciones astronómicas por los requerimientos de oscuridad para detectar objetos muy débiles. Los observatorios comenzaron a observar esta interferencia de la luz artificial que disminuía la calidad de las observaciones y amenazaba la viabilidad de los observatorios situados en zonas densamente pobladas (García, Páramo, Solano, Francia Payas; 2012). Ello ameritó que con el crecimiento de las ciudades y el incremento de la contaminación lumínica algunos observatorios debieron ser cerrados o mudados a emplazamientos más distantes.

En el caso de la astronomía en México esa problemática se hizo notable con el crecimiento de la Ciudad de México y su necesidad de iluminación que afectó al Observatorio Astronómico Nacional ubicado en la Villa Tacubaya y ameritó la búsqueda de un nuevo lugar para que el observatorio fuera trasladado y continuaran operando los telescopios.

En el año 1951 el telescopio astrógrafo fue instalado con una de las más grandes cámara Schmidt del mundo en su nuevo asentamiento a cientos de kilómetros al este de Ciudad de México, en la localidad de Tonazintla, estado de Puebla.

Sin embargo, a finales de la década de los años 60, se hace evidente el aumento de la contaminación lumínica por los excesos de iluminación para el desarrollo urbano, lo que se suma las pocas óptimas condiciones climáticas y se hace necesario una nueva campaña para la búsqueda de un lugar para instalar el moderno observatorio. Para ello, se utilizan datos de percepción remota en la temática meteorológica y en 1966 se localiza como el mejor lugar para la observación astronómica el noroeste de México, en una zona con una casi inexistente contaminación lumínica (Moreno-Corral, Costero and Schuster, 1994).

En esta década que los astrónomos a nivel mundial hacen evidente la preocupación por la pérdida de los observatorios astronómicos por el incremento de la contaminación lumínica y el cierre y mudanza de algunos de ellos. Asimismo, el reporte de la comisión 50 de la Unión Astronómica Internacional (IAU) en 1976 ya mostraba preocupación por los el limitado número de sitios adecuados para la observación astronómica (IAU, 1976).

El interés y preocupación por la protección a largo plazo de los cielos oscuros para la observación astronómica motivó en México acciones como la creación y combinación de figuras de áreas naturales protegidas. Esto se evidencia en el área seleccionada para el observatorio en la sierra de San Pedro Mártir de la península de Baja California, protegida por la categoría de Parque Nacional decretada en el año 1947 y una Reserva Forestal decretada en el año 1951 (Moreno-Corral et al., 1994; DOF, 1947; DOF, 1951).

En esta nueva ubicación se combina la protección de recursos naturales como los bosques, flora y fauna con las condiciones naturales de cielos oscuros para la observación astronómica y se ratifica la importancia de la actividad astronómica en el año 1975 cuando se “declara de interés público la conservación y restauración de la riqueza forestal de las montañas de San Pedro Mártir, en Ensenada, Baja California para asegurar el desarrollo normal de la investigación astronómica, geográfica y demás disciplinas afines” (DOF, 1975).

El Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir (OAN-SPM) ubicado en jurisdicción del municipio de Ensenada de Baja California, México, consiste en un conjunto de seis telescopios con diferentes diámetros de espejo que trabajan en la región visible del espectro electromagnético. Desde ellos se realizan una importante investigación de planetas, estrellas, galaxias y medio interestelar. Están ubicados en uno de los sitios con menos contaminación lumínica de México y del hemisferio norte, lo que le confiere buenas perspectivas de instalación

de nuevos telescopios. Por su importancia, el Estado Mexicano ha realizado una importante inversión para su modernización y desarrollo tecnológico.

Estas condiciones convierten al OAN-SPM en un patrimonio científico, cultural y económico de México que permite el desarrollo de su soberanía científica y educativa con la investigación y divulgación. En consonancia con esta importancia y con algunas iniciativas a nivel internacional, se han aprobado regulaciones locales para la protección de los cielos oscuros e incentivar el ahorro energético.

En este contexto, se desarrolla un análisis de la gestión de la problemática de la contaminación lumínica en área adyacente OAN-SPM, específicamente al territorio ubicado en jurisdicción del municipio de Ensenada, estado de Baja California, México.

Para una mejor comprensión de la temática, esta tesis se estructuró en cuatro secciones: en la primera se presenta una revisión del marco teórico y conceptual en torno a la definición de la contaminación lumínica y las normas que rigen el tema en algunos países. En la sección dos se incluye una caracterización y ubicación del área de estudio, tanto el OAN-SPM, el área de protección lumínica y sus adyacencias que involucra las poblaciones de los municipios del estado de Baja California. En la sección tres se describe el marco metodológico de la investigación. Se concluye con la sección cuatro con la interpretación de la gestión del marco legal en el área de estudio con respecto a la aplicación del reglamento de prevención de la contaminación lumínica en el municipio de Ensenada, Baja California, asimismo su incidencia en el OAN-SPM y las implicaciones que ello trae para la administración del mismo.

Marco teórico y conceptual

En esta sección se presenta la información resultante de la revisión documental acerca de la problemática de la contaminación lumínica y está dividido en los siguientes aspectos: los fundamentos técnicos del alumbrado público, la contaminación lumínica y sus fuentes, los métodos de cuantificación, las áreas de protección y el marco normativo de la contaminación lumínica.

1. Fundamentos técnicos del alumbrado público

La luz es definida como la “parte de la energía radiante evaluada visualmente, es decir, la energía que, al interactuar con alguna superficie, se refleja o se transmite hacia el sistema visual y produce la respuesta de los fotorreceptores, dotando al ser humano del sentido de la visión” (Colombo y O’Donnell, 2002; citado por Guanuquiza y Quito, 2014, p.25).

La luz, tiene una importancia fundamental para la vida de nuestro planeta por su influencia en las regulaciones climatológicas, la producción de alimentos, las funciones biológicas que incluyen el control de los ciclos biorrítmicos de los organismos, entre otros. En diversos estudios se ha comentado que el 80% de la percepción en los seres humanos se realiza a través de la visión. (Solano, 2010).

“La iluminación como uso final de la energía tiene importancia en todos los sectores de consumo, aunque de forma más significativa en los sectores residencial, comercial y de servicios municipales. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), la iluminación representa el 25% del consumo de esas instalaciones” (DOF, 2016).

Existen fuentes de iluminación elaboradas por el hombre y son denominadas fuentes artificiales, con las cuales se suple la iluminación ante la ausencia de la luz solar. Ellas van desde el descubrimiento del fuego y uso de antorchas, pasando por aceites, ceras y otros implementos hasta las actuales formas de iluminación que se iniciaron con el descubrimiento de los filamentos hasta los diodos emisores de luz (LED) (Solano, 2010) (figura 1).

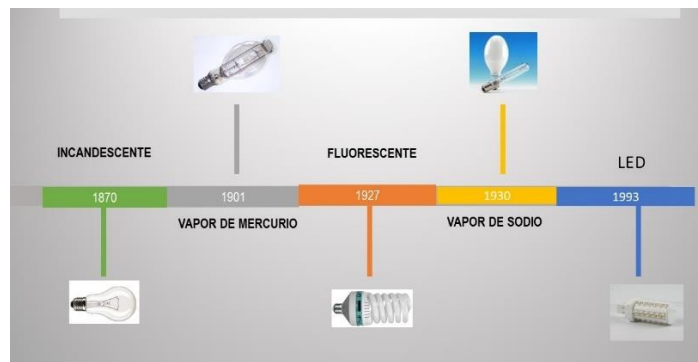


Figura 1. Evolución de las tecnologías de iluminación

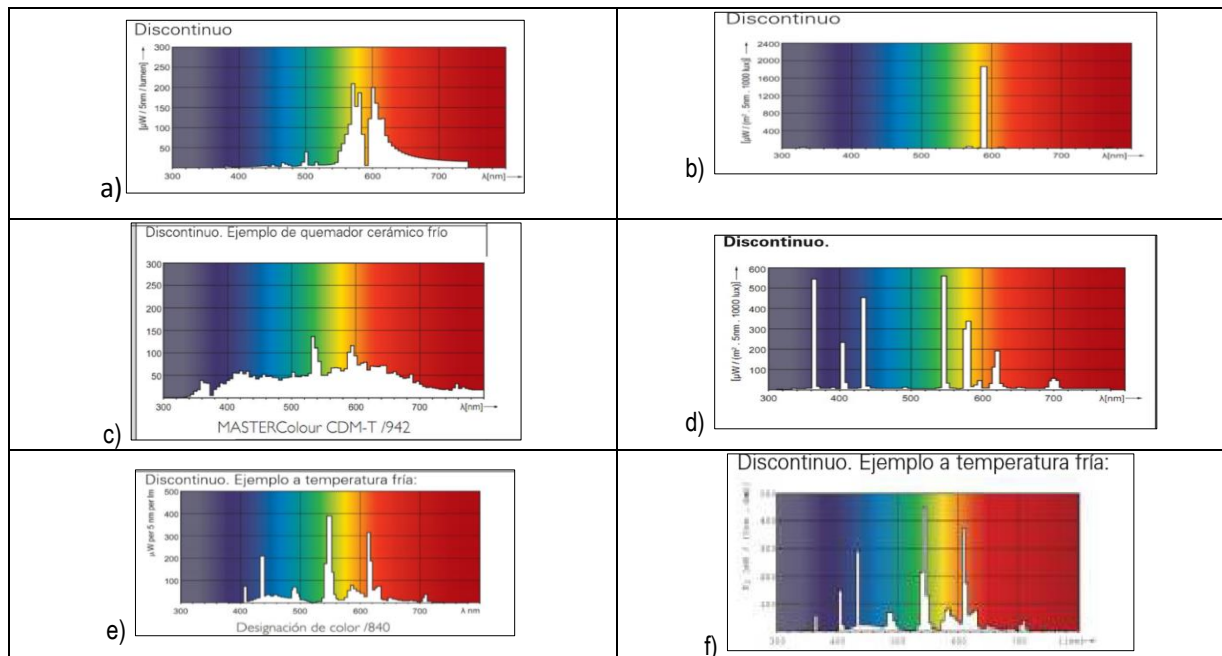
Asimismo, a continuación, se presentan los grupos de lámparas descritas por García, San Martín, Solano y Francia Payàs (2012) en el cual se indica la existencia de tecnologías específicas que pueden incidir en la problemática de la contaminación lumínica, especialmente por el tipo de espectro de emisión (figura 2). Estos autores no consideraron las lámparas incandescentes o halógenas, puesto que su uso es marginal o inexistente en alumbrado exterior (tabla1).

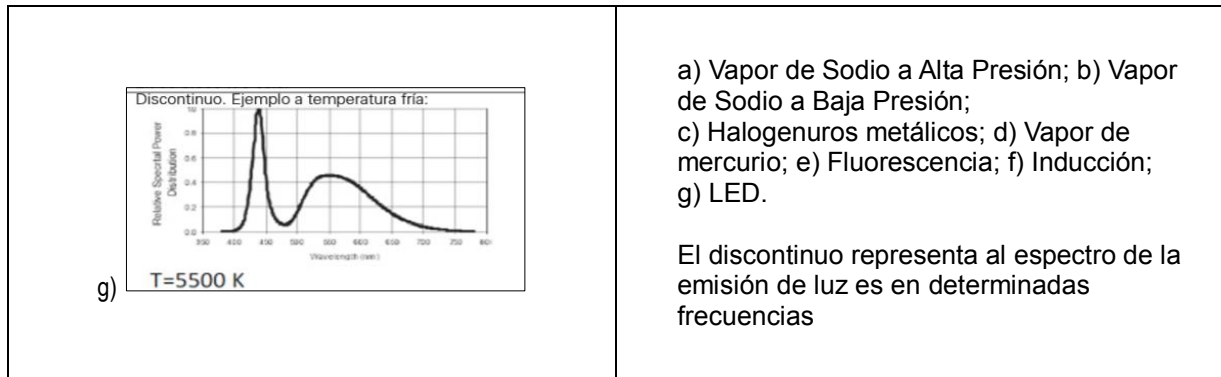
Lámpara	Uso	Características	Observaciones
Halogenuros metálicos: quemador cerámico o de cuarzo	<p>Las lámparas de halogenuros metálicos son lámparas de descarga a alta intensidad. La tonalidad de la luz es blanca brillante y de alta calidad.</p> <p>Su uso es indicado en aquellos lugares donde se quiere tener una iluminación de alta reproducción cromática para actividades de ocio y comerciales muy específicas, siempre y cuando estén en zonas urbanas alejadas de zonas de alta sensibilidad a la contaminación lumínica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alta reproducción cromática ✓ Buena eficacia lumínica ✓ Las que presentan las mejores características tienen emisión por debajo de los 440 nm, y su precio y vida útil suelen encarecer el coste de mantenimiento de las instalaciones. 	<p>Actualmente, se están desarrollando modelos de potencias muy reducidas.</p> <p>Se utilizan con frecuencia en iluminaciones deportivas, fachadas, zonas de alta representación o comerciales</p>
Vapor de Mercurio	<p>Ha sido la lámpara utilizada de forma generalizada en el alumbrado público para conseguir luz blanca durante mucho tiempo. En la actualidad, está en extinción y, según sus características, es prohibida en diferentes países por su reducida eficacia. La tonalidad de la luz es blanca azulada</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reproducción cromática correcta ✓ Eficacia lumínica reducida ✓ Elevada emisión por debajo de los 440 nm 	<p>No se aconseja utilizarla y se recomienda sustituirla en las instalaciones existentes</p>
Fluorescencia	<p>Es una lámpara a baja presión que emite radiación visible a través de la sustancia fosforescente que posee el recubrimiento exterior del tubo de descarga. Es de baja potencia, con gran tamaño del emisor. Se presenta en múltiples familias: compactas (simples, dobles, triples), tubulares, circulares, con características específicas dependiendo del uso a que se quiera destinar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elevada reproducción del color ✓ Alta eficacia luminosa ✓ En los tonos más fríos, tiene una emisión considerable por debajo de los 440 nm 	<p>Se aconseja utilizarla en lugares donde sea necesario una elevada reproducción del color y bajos niveles de iluminación (que se pueden conseguir con una buena uniformidad en sus formatos de baja potencia). Puede usarse en algunos parques con luminarias de poca salida lumínica, en porches</p>
Vapor de sodio: de alta y de baja presión	<p>Son lámparas de descarga que se utilizan, principalmente, para la iluminación exterior.</p> <p>Se conocen dos grandes familias, según la presión del gas en el interior del tubo de descarga: vapor de sodio a alta presión y vapor de sodio a baja presión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La tonalidad de su luz es amarillenta ✓ Baja reproducción cromática ✓ Alta eficacia energética ✓ Baja afectación medioambiental por su baja componente de radiación, inferior a 440 nm 	<p>No es recomendada – especialmente la de sodio de baja presión– en aquellos lugares donde el rendimiento cromático sea un requisito de diseño predominante por la actividad que se realice. Por ejemplo, en calles, autopistas, avenidas, polígonos industriales.</p>
Inducción	<p>Es una lámpara que funciona por el principio de la luminiscencia inducida a través de un campo electromagnético. Existen diferentes familias, en función del fabricante y del diseño de luminarias, que ha de ser específico para la lámpara.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vida útil muy elevada (60.000 horas) ✓ Alta reproducción del color ✓ Eficacia luminosa moderada, que roza los límites recomendables ✓ En los tonos más fríos, presenta una considerable emisión por debajo de los 440 	<p>Se aconseja utilizarla en lugares donde se requiera una alta reproducción del color y bajos niveles de iluminación (que se pueden conseguir con una buena uniformidad en sus formatos de baja potencia).</p>

Lámpara	Uso	Características	Observaciones
		nm.	
Diodos Emisores de luz (LED)	<p>Es una lámpara cuyo principio de funcionamiento es la fotoluminiscencia. Emite radiación luminosa a través de la generación de energía en la unión de dos semiconductores.</p> <p>Se utiliza desde hace tiempo en la señalización, mientras que su aplicación en la iluminación es relativamente nueva y está en desarrollo constante. Actualmente, se considera que comienza a llegar a la etapa de madurez, aunque todavía no la ha alcanzado.</p> <p>Existen múltiples familias: de 3 mm, de 5 mm, de alta potencia, matriz de LED, OLED, entre otras. Es muy versátil que le otorga características específicas dependiendo del uso que se quiera realizar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alto rendimiento del color para luz blanca ✓ Eficacia luminosa elevada (dependiendo de la tecnología específica utilizada) ✓ En los tonos más fríos, presenta una considerable emisión por debajo de los 440 nm. 	Se recomienda utilizarla en lugares donde se requiera un alto rendimiento del color y bajos niveles de iluminación (que pueden conseguirse con una buena uniformidad en sus formatos de baja potencia).

Fuente: Elaboración propia con información de García, San Martín, Solano y Francia Payàs (2012)

Tabla 1. Características de las lámparas de iluminación





Fuente: García, San Martín, Solano y Francia Payàs (2012)

Figura 2. Espectros de emisiones de lámparas de iluminación

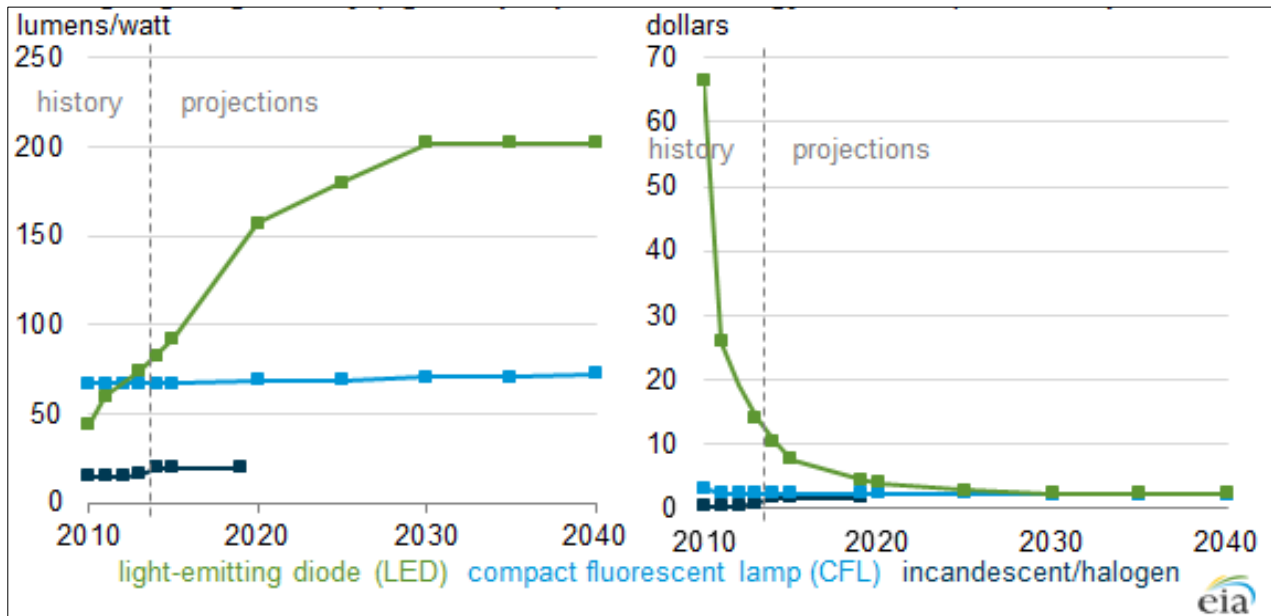
Como se observa en imágenes anteriores existen diferencias en las emisiones y características de cada tipo de iluminación, por ello es necesario caracterizar los tipos de fuentes de iluminación y sus especificaciones técnicas antes de iniciar los procesos de instalación y sustitución de luminarias. Ello permitirá utilizarlas correctamente de acuerdo a la actividad a realizar y sin generar contaminación lumínica.

En cuanto a la eficiencia energética de las lámparas se utiliza la medida conocida como eficacia luminosa y se refiere a la salida de luz por unidad de potencia entregada (lúmenes/Watt). “La tecnología de las lámparas incandescentes, que ha dominado los mercados de la iluminación residencial por casi un siglo, produce sólo 16 lúmenes/Watt con 1,000 horas de vida media). Una lámpara fluorescente compacta equivalente (CFL, por sus siglas en inglés), que aparece en el mercado hace 30 años, proporciona alrededor de 67 lúmenes/Watt y dura 10 veces más. Finalmente, las lámparas de diodo con emisión de luz (LED, por sus siglas en inglés) llegan a 83 lúmenes/Watt y su vida útil puede durar 30 veces más que una lámpara incandescente comparable” (DOF, 2016).

Los avances tecnológicos permiten una significativa mejora en la eficiencia energética, a precios asequibles para la población mundial, por lo que resulta relevante la evolución de la tecnología asociada a la iluminación. (DOF, 2016).

“Las lámparas LED tienen mayor rendimiento luminoso útil (porcentaje de lúmenes por watt) que las lámparas ahorradoras de energía (CFL) o las lámparas de vapor de sodio (VSAP), tradicionalmente utilizadas en el alumbrado público. Además, ofrecen 8 veces más iluminación que la lámpara incandescentes” (ECOTEK, s/f). Este tipo de luminarias es una alternativa para el reemplazo de las luminarias contaminantes u obsoletas a un menor costo. “Precisamente, se espera que la eficacia de las LED siga creciendo hasta niveles cercanos a los 200 lúmenes/Watt,

mientras que su costo tiende a ser similar al de las incandescentes y CFL en pocos años” (figura 3) (DOF, 2016).



Fuente: U.S Energy Information Administration Annual Energy Outlook 2014; citada por DOF, 2016. Recuperada de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=15471#>.

Figura 3. Eficiencia promedio en iluminación (producción de luz por unidad de energía consumida) y costos por lámpara

El flujo luminoso es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa y está representada por el “nivel lumínico necesario para el desarrollo de actividades y labores con seguridad y calidad”, se representa mediante la luminancia y la iluminancia (García, San Martín, Solano y Francia Payàs, 2012, p. 27). Por su parte, la iluminancia o iluminación, es la relación del flujo luminoso que recibe una superficie y la extensión que ésta posea. Es decir, a mayor flujo luminosos, mayor iluminancia. Su unidad de medida es el lux que equivale a un lumen/m². El lumen es la unidad de medida de la potencia luminosa emitida por una fuente (tabla 2 y 3).

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> ▯ de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; ▯ exactas y muy prolongadas, y ▯ muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	2,000

Fuente: DOF, 2008

Tabla 2. Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo

Tabla 4. Guía práctica de niveles de alumbrado recomendados a partir de las 12:00 de la noche

Tipo de vial	cd/m ²	Luminancia cd/m ²	cd/m ²	lux	luminancia lux	lux
	Media	Máxima (U ₀ <0.35*)	Puntual (U ₀ <0.35*)	Media	Máxima (U _g <25*)	Puntual (U _g <25*)
Autopistas/autovías	0.9-1.1	1.5	2.5	15-20	30	65
Carreteras generales en travesías por núcleos urbanos muy transitados	0.9-1.1	1.5	2.5	15-20	30	65
Carreteras generales en travesías por núcleos urbanos poco transitados	0.7-0.8	1.1	1.8	10-15	30	40
Arterias urbanas	0.7-0.8	1.1	1.8	10-15	30	40
Residenciales, caminos rurales, carreteras fuera de núcleos urbanos	0.3-0.6	0.8	1	5-10	20	30
Peatonales	-	-	-	5-10	20	30
*U ₀ = luminancia min./ luminancia media						
*U _g = iluminancia. min./ iluminancia media						

Fuente: Tomada de la Oficina Técnica para la protección de la calidad del cielo del Instituto Astrofísico de las Canarias (IAC).

Tabla 3. Niveles de iluminación vial sugeridos por el la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC) de Canarias, España.

Por otro lado, “la luminaria es el elemento que aloja la fuente de luz y distribuye –mediante espejos, prismas, difusores...– la iluminación en distintas direcciones del espacio”. Es fundamental para la comprensión de la problemática de la contaminación lumínica conocer la forma en que una luminaria distribuye en el espacio su emisión de luz (Distribución lumínica). Esta distribución adopta formas diferentes (figura 4) (García, San Martín, Solano y Francia Payàs, 2012, p. 407).

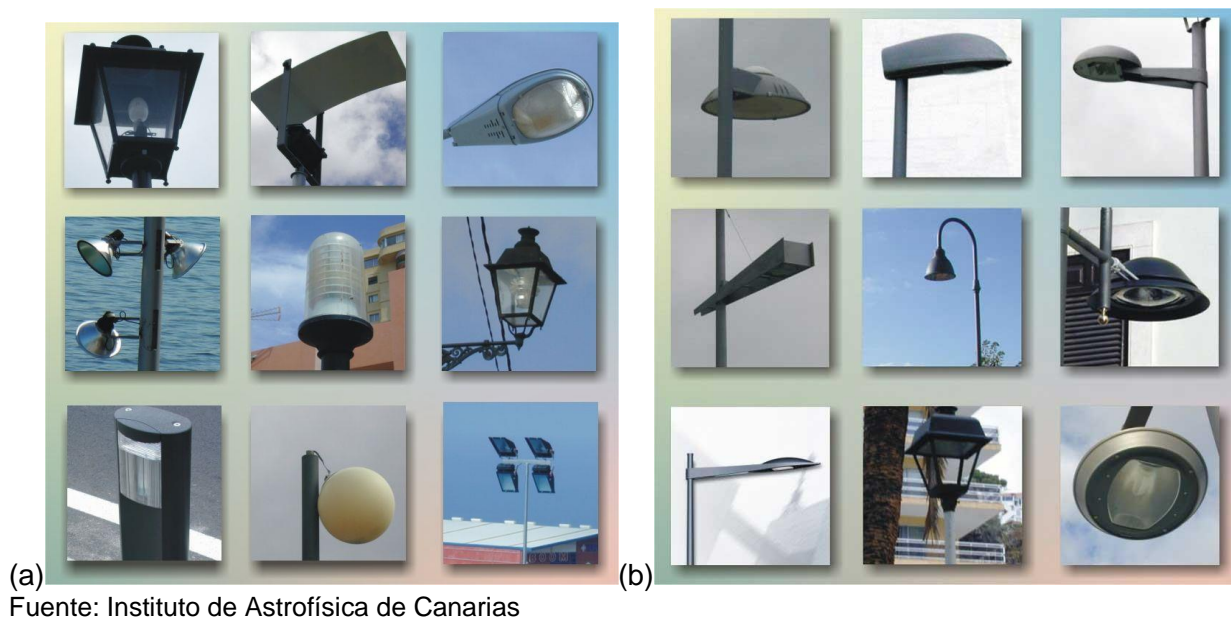


Figura 4. Ejemplos de Distribución lumínica de las lámparas: (a) generando contaminación lumínica; (b) sin generar contaminación lumínica.

Los conceptos de distribución lumínica más importantes considerados por García, San Martín, Solano y Francia Payàs (2012), son los siguientes:

- Rendimiento (h). Fracción de luz que sale de la luminaria con respecto a la que sale de la lámpara. Así pues, descontando las inevitables pérdidas por absorción, reflexión, entre otros.

$$\text{Rendimiento} = \text{Flujo emitido por la lámpara} / \text{Flujo lámpara}$$

- Factor de utilización (Fu). La luz emitida por la luminaria no sólo ilumina la zona necesaria, sino que también alcanza sus alrededores. El factor de utilización expresa el porcentaje que es aprovechado en la iluminación que se considera útil.

El factor de utilización depende de la distribución lumínica de la luminaria, pero también de la amplitud de la zona que se pretende iluminar. No tiene, pues, un valor único, y se expresa mediante gráficos o tablas.

$$\text{Factor Utilización} = \text{Flujo lumínico en zona útil} / \text{Flujo lámpara}$$

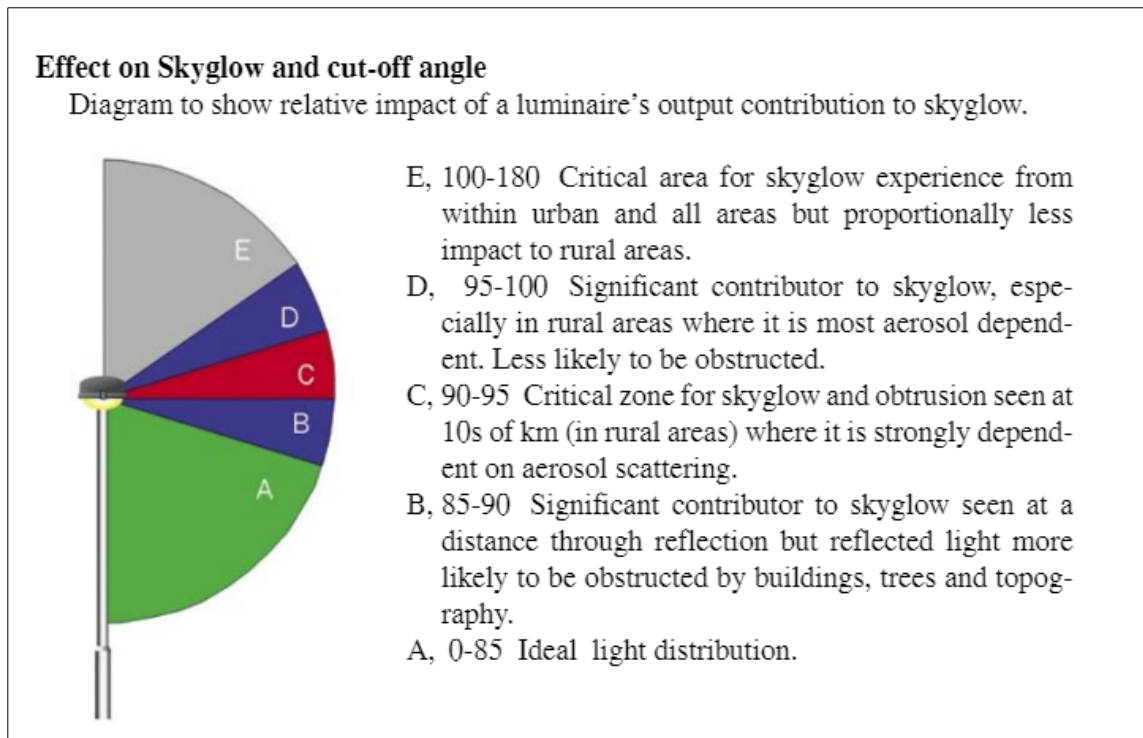
- Flujo Hemisférico Superior (FHS). Indica el porcentaje de luz que se emite en direcciones por encima de la horizontal. Es un concepto fundamental en el estudio de la Contaminación lumínica. Se expresa de dos formas distintas:

$$(\text{Flujo Hemisférico Superior}) \text{ FSH} = \text{Flujo lumínico emitido} / \text{Flujo lámpara}$$

$$(\text{Flujo Hemisférico Superior instalado}) \text{ FHSi} = \text{Flujo sobre la horizontal} / \text{Flujo lámpara}$$

- Desde el punto de vista de la contaminación lumínica, el concepto más representativo a tomar en consideración –y que es limitado por las reglamentaciones– es el FHS instalado. Es importante no confundirse al examinar la documentación fotométrica de las luminarias. El FHSi es siempre mayor que el FHS ($\text{FHSi} = \text{FHS} / \text{rendimiento}$).

En la actualidad, hay estudios en desarrollo que valoran el FHSi de la luminaria no sólo por su cantidad, sino también por su dirección (figura 5). La salida de la intensidad luminosa en ángulos horizontales es potencialmente mucho más dañina que la salida totalmente vertical (que atraviesa menos atmósfera y escapa más fácilmente al espacio exterior) (Baddliley, 2012; citado por García, San Martín, Solano y Francia Payàs; 2012).

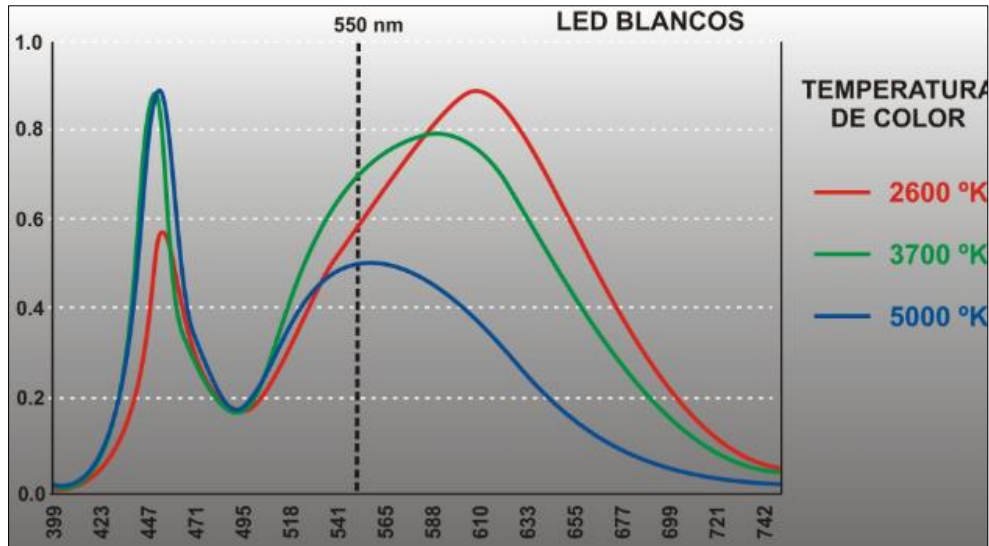


Fuente: Chris Baddiley. StarLight. A Common Heritage

Figura 5. Caracterización de la emisión contaminante según la salida de la intensidad luminosa

En cuanto a las emisiones de luz en el espectro electromagnético, la IAU (2002) ha mostrado preocupación por la contaminación lumínica de luminarias artificiales con emisión de energía en el rango blue-rich (cerca de los 450nm), distantes de las fuentes basadas en sodio con valores cercano a los 590 nm. Estas emisiones en el rango de los azules no son apreciadas por el ojo humano, pero si por los sensores de los observatorios. Otra manera de entender la problemática de las fuentes azules, es su comportamiento en la dispersión, ya sea por Rayleigh o por Mie lo cual es particularmente importante ya que dependerá mucho del tipo de partículas suspendidas en la atmósfera.

El Instituto Astrofísico de Canarias conjuntamente con otras instituciones propone algunos elementos a considerar en las emisiones de cuatro tipos de LED y sus rangos del espectro electromagnético (figura 6). Consideran que “el menos dañino es el LED de color ámbar o blanco con filtros de color ámbar, equivalente a las antiguas lámparas de sodio. Aunque también existen LED blancos, su uso está restringido a áreas exclusivamente peatonales y está prohibido aquellos que tienen demasiado azul. Se recomienda utilizar LED blancos con una temperatura de color inferior a 2700°K debido a su menor contenido de luz azul”. IDA actualmente recomienda que la CCT sea menor a 3000K, pero está considerando reducirla a menos de 2700K próximamente.



Fuente: Instituto de Astrofísica de Canarias

Figura 6. Tipos de emisión espectral de las LED

2. La contaminación lumínica y sus fuentes

La definición más reconocida de la contaminación lumínica es el abrigamiento del cielo nocturno es originado por los flujos luminosos de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o rangos espectrales innecesarios. Ello nos presenta tres elementos a considerar:

- a) Su causa son los flujos luminosos de las fuentes de iluminación artificiales.
- b) Puede resultar por:
 - o el mal direccionamiento de las fuentes de iluminación o el uso de diseños que emiten en todas direcciones;
 - o fuentes de iluminación muy intensas que generan excesos de iluminación;
 - o El tipo de rango espectral de las fuentes luminosas.

La emisión de luz contaminante se debe a la emisión directa de luz hacia el hemisferio superior de las luminarias y su dispersión en la atmósfera que ocasionan el abrigamiento del cielo y la pérdida de la visión de los objetos celestes.

García, San Martín, Solano y Francia Payàs (2012) plantean que a “medida que las eficiencias energéticas y las formas de los sistemas de alumbrado han ido aumentando, se han elevado los niveles de iluminación y, por tanto, la luz nocturna. Esta luz escapa de las ciudades y crea un halo de luz alrededor de ellas que se difumina por el cielo y llena la noche natural de este resplandor luminoso. Este halo es debido a la reflexión o refracción de la luz en las partículas que forman la atmósfera (átomos o partículas en suspensión) (figura 7)”.

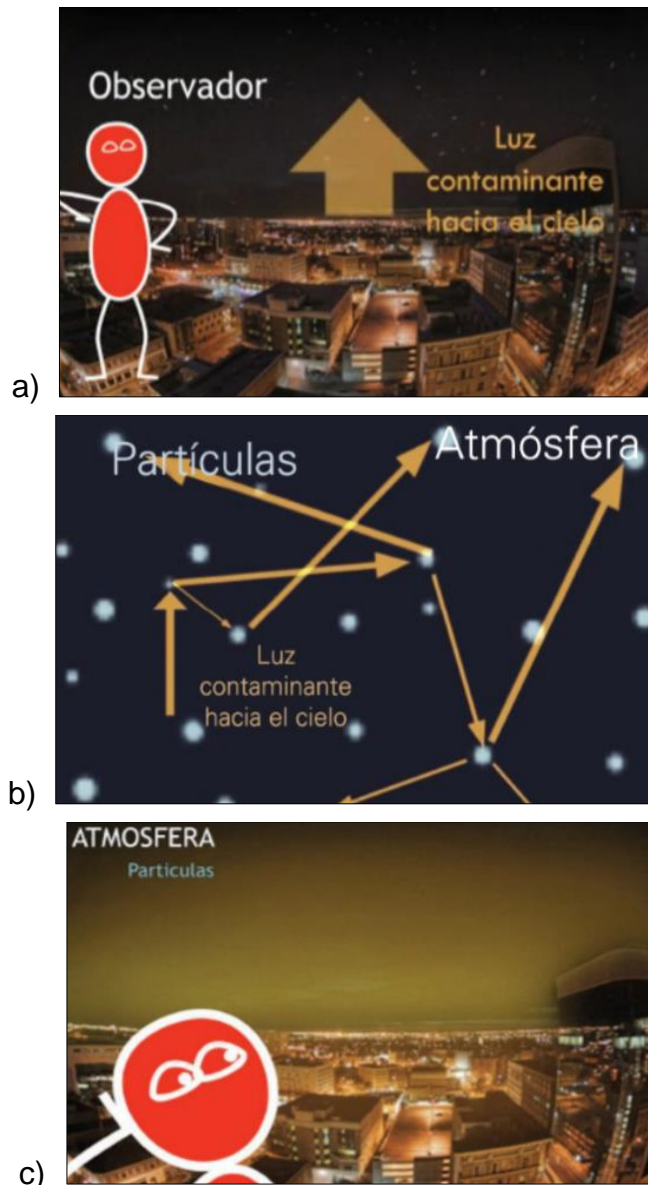
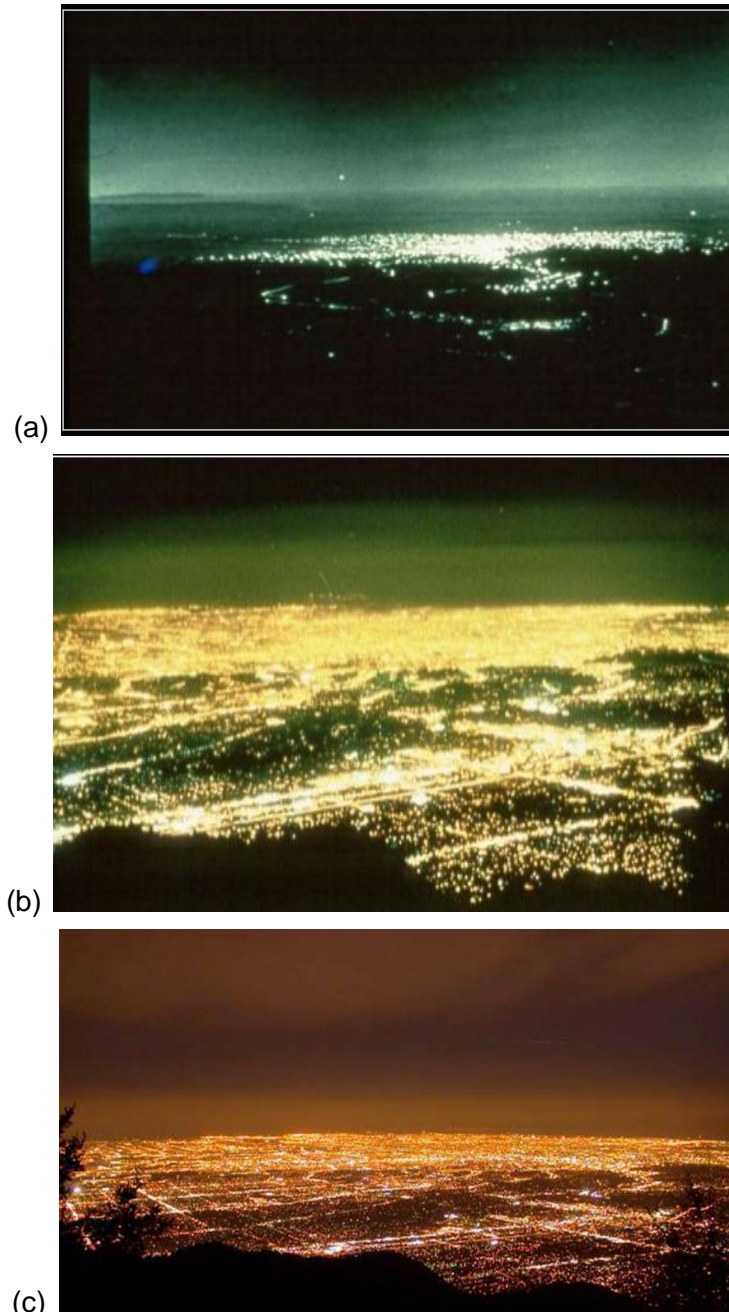


Figura 7. Explicación del proceso de la contaminación lumínica: La luz escapa de las ciudades (arriba izquierda); Reflexión o refracción de la luz en las partículas que forman la atmósfera (arriba derecha); Resplandor luminoso (abajo)

Esta figura muestra que aparte de la iluminación artificial existen otros factores que contribuyen a magnificar la contaminación lumínica, como los elementos de reflectancia, el contenido de partículas en la atmosfera, la fotometría de las lámparas, el tipo de terreno y los obstáculos.

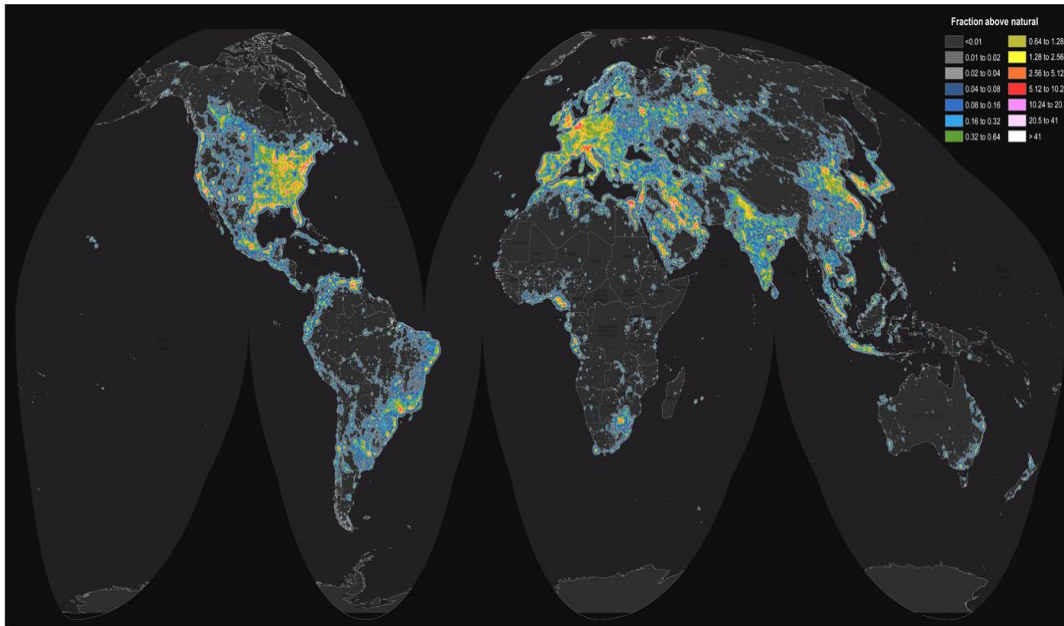
La contaminación lumínica también genera otros efectos adversos como la desorientación a la fauna nocturna, como los insectos, el deterioro de la salud humana, la pérdida del patrimonio cultural y del derecho al disfrute del cielo nocturno.

Ello implica un problema para el medio ambiente por el excesivo uso o diseños de fuentes de iluminación exterior, el cual es observable a la distancia sobre los cielos de las grandes ciudades (figura 8) y desde el espacio (figura 9 y 10), esta última perspectiva evidencia que la problemática no es sólo para los observatorios astronómicos sino también a nivel global.



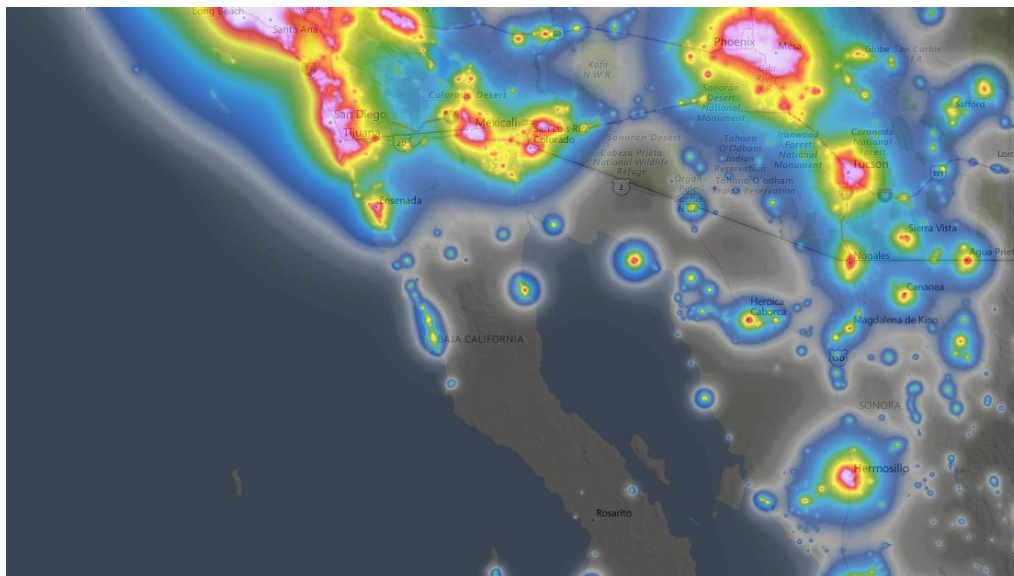
Fuente: (a) y (b) Imágenes recuperadas de Google images; (c) McDonnell, Hahs y Breuste (2009)

Figura 8. Incremento de la contaminación lumínica con el crecimiento de la ciudad de Los Ángeles (USA), visto desde el Monte Wilson para los años 1908, 1988 y 2002



Fuente: Imagen recuperada de Falchi Cinzano, Duriscoe Kyba, et al., 2016.
<https://advances.sciencemag.org/content/2/6/e1600377>

Figura 9. Atlas mundial del brillo artificial del cielo (World map of artificial sky brightness)



Fuente: Imagen recuperada de Falchi Cinzano, Duriscoe Kyba, et al., 2016.

Figura 10. Brillo artificial del cielo nocturno de Norte América.

La contaminación lumínica es un desperdicio de recursos energéticos al requerir más generación de electricidad y con ello incremento del servicio, asimismo sumado a esos costos de producción, está la instalación de sistemas ineficientes de iluminación cuya dirección de emisión del flujo

luminoso no siempre está diseñado para orientarse a iluminar lo que nos interesa y por ende desperdicia energía y flujo luminoso que debe ser pagado con los recursos del ayuntamiento a las compañías de electricidad.

3. Métodos de cuantificación de la contaminación lumínica

La medición de la contaminación lumínica puede realizarse a través de varios instrumentos, entre ellos destacan el uso de medidores de calidad del cielo (SQM), fotómetros de brillo del cielo (STARS4ALL), imágenes de satélite y modelos de análisis. En la actualidad estos métodos se combinan para la obtención de información precisa de la distribución espacial y temporal.

García, Francia, San Martí y Solano (2012) consideran que los modelos matemáticos son la metodología para el estudio y análisis de la contaminación lumínica más utilizado. Su uso se inicia en 1937 con la propuesta de Elvery y Roach, y es el punto de partida para otras propuestas como la de Walker (1970), Treanor (1974), Berry (1976), Pike (1976), Garstang (1984), Albers y Duriscoe (2001), observaciones de estrellas (Walker et al., 2003; Isobe y Kosay, 1988), Aube (2005) y Kocifaj (2007).

La aplicación de estos diferentes modelos pretendía explicar y caracterizar de manera más objetiva la contaminación lumínica, para ello cada modelo considera diferentes parámetros, entre los más utilizados destacan el número de habitantes en las poblaciones y sus requerimientos de iluminación, la propagación y dispersión de la luz en la atmósfera, la presencia de aerosoles en la atmósfera, la curvatura de la tierra (para identificar como afecta la contaminación lumínica a la distancia), las características topográficas del terreno, la reflectancia de la luz, la condiciones climáticas al momento de la medición, entre otros (García, Francia, San Martí y Solano, 2012).

Como resultado de la aplicación de estos modelos matemáticos es posible representar el comportamiento de la contaminación lumínica en mapas lumínicos a diferentes escalas para estudiar las ciudades a escala mundial y aplicar medidas e índices para calcular la oscuridad del cielo y la visibilidad de las estrellas. La unidad de medida utilizada en astronomía para cuantificar la contaminación lumínica es la luminancia de fondo celeste, que mide el incremento de claridad y se expresa en magnitudes de arco por segundo cuadrado ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$).

A partir del desarrollo del modelo de Walker en 1970 su aplicación fue de utilidad para el estudio de la localización de los observatorios; ya que encontró un conjunto de relaciones empíricas entre el brillo del fondo del cielo, la distancia y la población de una ciudad (Briceño, 2016).

Es pertinente aclarar que si bien el modelo de Walker (1977) es uno de los modelos más conocidos y aplicados, presenta algunas limitaciones, como que sólo considera el aspecto poblacional y distancia a los focos de contaminación y no el resto de los elementos incidentes como partículas de polvo y otras particularidades. Sin embargo, es posible obtener una aproximación al problema. Asimismo, existen otros modelos que responderán a las particularidades regionales pero que ameritan instrumentos y equipos de monitoreo muy costosos, así como procesadores y computadores de grandes capacidades (García, Francia, San Martí y Solano, 2012).

Esta metodología de Walker fue utilizada por Antaramián (2001 para realizar estimaciones de la contaminación lumínica basadas en la distribución espacial de la población en la región de Michoacán, México

4. Áreas de protección lumínica

Actualmente existen un número importante de observatorios en el mundo los cuales presentan diferentes características que permiten realizar investigaciones específicas. Ante la amenaza de la contaminación lumínica y la importancia de esta problemática para la astronomía ya que los observatorios próximos a centros de gran intensidad luminosa ven limitados sus posibilidades de observación que ha “obligado a implantar los observatorios de primera categoría en zonas muy alejadas de los núcleos de población, lo cual ha encarecido su construcción y funcionamiento” (García, Francia, San Martí y Solano, 2012; p.18).

Asimismo, la IAU desde la comisión 50 ha identificado tres clases de cielos oscuros que requieren ser monitoreados y preservados, son denominados clases A, B y C. La clase A son sitios con telescopios con espejos con aperturas mayores de 6.5 m e indetectada contaminación lumínica en el zenit. Clase B son los sitios donde se plantea construir telescopios con espejos con aperturas mayores de 6.5 m e indetectada contaminación lumínica en el zenit. La clase C son los sitios operando telescopios con aberturas grandes como 2.5 m y niveles de contaminación lumínica al zenit menores que la variación natural del brillo del cielo nocturno asociado con ciclo solar de 11 años ((IAU, s/f).

Una de las medidas protectoras es crear zonas de protección lumínica, la cual consiste en definir dos anillos de área protectora en las adyacencias del observatorio astronómico, considerando éste como el punto de partida. El primer anillo es de un radio de 100 km para el área de máxima protección y 200 km para el área de menor restricción. Sin embargo, en cada país estos criterios

se aplican de diferentes formas, siendo su forma más sencilla de delimitar por municipio o regiones, por ejemplo, en el área de Canarias (España) y norte de Chile están definidas en función de los municipios con zonificaciones con diferentes grados de restricción lumínica, en Venezuela se define un área de máxima protección de 5 Km y el resto del área corresponde a un área de protección de área pública que incluye varios municipios (Puro, Della Prugna y Barroeta, 2016; Gaceta Oficial de Venezuela, 1991; Diario Oficial, 2013; BOE, 2001).

Asimismo, la CIE ha propuesto una zonificación con diferentes niveles de iluminación que pudiesen afectar los observatorios astronómicos y es por ello que se establecen restricciones y requisitos para cada una de ellas. Este modelo es seguido en varios países para establecer los requisitos de iluminación en los sistemas de iluminación exterior (tabla 4).

Zona	Características	Iluminación medioambiental	Ejemplos
E1	Natural	Específicamente oscuro	Parques nacionales, observatorios, sitios protegidos
E2	Rural	Distrito de bajo brillo	Áreas rurales
E3	Suburbano	Distrito de medio brillo	Suburbios residenciales
E4	Urbano	Distrito de alto brillo	Áreas comerciales

Fuente: Narisada & Schreuder, 2004;) <https://www.celfosc.org/biblio/general/gt20vconama.pdf>

Tabla 4. Descripción de zonas medioambientales adoptadas por la CIE.

5. Marco normativo en materia de contaminación lumínica

El objeto de este apartado es identificar y analizar las diferentes iniciativas y legislaciones desarrolladas a nivel internacional, nacional y local para la protección del medio nocturno frente a la contaminación lumínica.

La protección de los cielos en el contexto internacional

La protección de los cielos oscuros ha sido abordada en diferentes eventos por los organismos internacionales en los cuales se han considerado elementos como el reconocimiento del valor social, cultural, ecológico y astronómico de los cielos oscuros (tabla 5). Asimismo, la importancia de implementar medidas legales o normativas para combatirla y reducirla, para ello se han incorporado las concepciones de ahorro energético y el uso de nuevas tecnologías y el gasto energético de las diferentes fuentes de iluminación.

Año	Iniciativa/Principios tratados	Producto
1992	UNESCO en conjunto con la IAU/ICSU/COSPAR se reúnen en París (Francia) en una conferencia en destaca el interés por la problemática de la contaminación lumínica y el reconocimiento del valor cultural, científico y ambiental del cielo nocturno y su importancia como patrimonio para la humanidad	Declaración sobre la Reducción de los Impactos Ambientales Adversos a la Astronomía (Declaration on the Reduction of Adverse Environmental Impact on Astronomy) y define los World Heritage Site a los sitios de interés astronómico.
2003	UNESCO creó la Iniciativa Temática "Astronomía y Patrimonio"	Reconocimiento de la importancia de la astronomía en el patrimonio humano y colectivo. Papel de la ciencia en la cultura
2007	UNESCO, OMT, IAU, PNUMA-CMS, CE, SCDB, Programa MaB y la Convención Ramsar participan en la Conferencia Internacional Starlight a Common Heritage, promovida por el IAC	Declaración sobre la Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de la Estrellas, conocido como la Declaración de La Palma
2009	UNESCO e IAU declaran el año 2009 como Año Internacional de Astronomía (AIA 2009)	Desarrollo de múltiples actividades para concientizar a la sociedad en su conjunto y a la comunidad científica en particular acerca de los valores de los cielos oscuros.
2010	UNESCO	Aprobación de los lineamientos para incluir los sitios de interés astronómico y arqueoastronómico en la lista de Patrimonio Mundial
2015	UNESCO celebra el Año Internacional de la Luz	
2015	UNESCO e IAU organizaron la reunión "Progressing the UNESCO-IAU Initiative" en Honolulu, Hawái	Discusión de los avances en la implementación de la iniciativa del Centro del Patrimonio Mundial, "Astronomía y patrimonio", así como la identificación y la protección de los sitios inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial relacionados con astronomía. Sesión especial sobre la protección de los cielos oscuros en el marco de la Convención.
2016	Clausura del Año Internacional de la Luz en México	Reunión Internacional sobre el Derecho a los cielos oscuros

. Fuente: Elaboración propia con información de UNESCO (2016)

Tabla 5. Eventos internacionales en materia de la protección de los cielos oscuros y la contaminación lumínica

Debido a la importancia de estas cumbres por agrupar el interés internacional de esta temática a continuación se incluyen algunos de los principios aprobados en estas cumbres:

En junio de 1992 la UNESCO en conjunto con la IAU/ICSU (Consejo Internacional de Uniones Científicas) /COSPAR (Comité de Investigación del Espacio) se reúnen en París (Francia) en una conferencia en la que destaca el interés por la problemática de la contaminación lumínica y el reconocimiento del valor cultural, científico y ambiental del cielo nocturno y su importancia como patrimonio para la humanidad. Producto de esta reunión emiten la Declaración sobre la Reducción de los Impactos Ambientales Adversos a la Astronomía (Declaration on the Reduction

of Adverse Environmental Impacts on Astronomy) y define los World Heritage Site a los sitios de interés astronómico.

A continuación, se presenta la transcripción de la Declaración:

Nosotros los participantes de la Exposición IAU/ICSU/UNESCO sobre Impactos Ambientales Adversos a la Astronomía declaramos que el cielo nocturno, con sus hermosas estrellas y su mensaje acerca de nuestro lugar en el Universo, es un precioso tesoro de la humanidad, en el cual confiamos para nuestro conocimiento y comprensión de nuestros orígenes y destino, y que la astronomía es una de las más fundamentales, apreciadas y accesibles de las ciencias.

Sin embargo, encontramos de la civilización que nutre nuestra ciencia está produciendo un entorno con una influencia negativa desesperadamente seria sobre la ciencia astronómica. Los cielos, que han sido, y siguen siendo, una inspiración para toda la humanidad, han sido dañados hasta el punto de ser desconocidos para las nuevas generaciones. Un elemento esencial de nuestra civilización y cultura está perdiéndose rápidamente y esta pérdida afectará a todos los países del mundo.

Creemos que éste es un problema global que debe ser abordado por organizaciones intergubernamentales y, acordemente, solicitamos a la UNESCO y al ICSU (Consejo Internacional de Uniones Científicas) a emplear todos los medios disponibles para proveer asistencia a la astronomía; a preservar los sitios de los mejores observatorios astronómicos con la protección adicional de la designación como Patrimonio de la Humanidad; a instar a estados miembros a proveer protección legal a sus principales observatorios con el fin de preservar las condiciones naturales de observación; a instar a las agencias espaciales y al Comité de las Naciones Unidas para el Uso Pacífico del Espacio Exterior a lograr acuerdos en los niveles de desperdicios espaciales y buscar procedimientos factibles de remover esta amenaza a la observación astronómica; a instar a todas las organizaciones gubernamentales, intergubernamentales y no-gubernamentales cuyas actividades puedan afectar el ambiente astronómico a poner el mayor empeño en asegurar que el impacto de sus efectos sea mínimo y a perseguir la investigación de vías para la potencial protección legal a nivel internacional.

(Fuente: <https://www.inaoep.mx/~astrofi/cananea/declaracion.html>)

Es pertinente aclarar que, si bien en esta declaración se destaca el cielo nocturno como Patrimonio de la Humanidad, no ha sido formalmente declarado por el comité de la UNESCO.

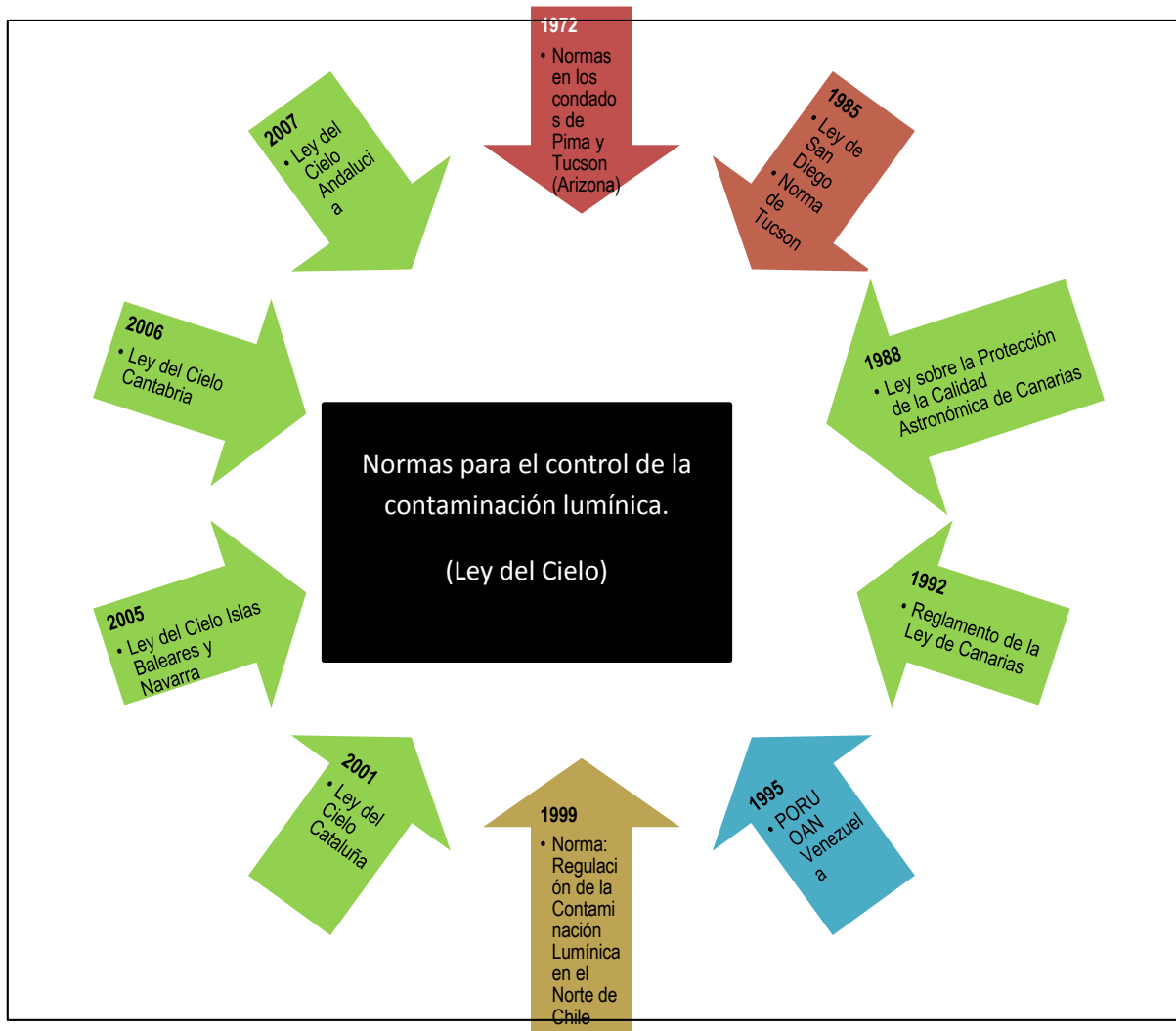
En el año 2007 se realiza la Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas celebrada en la Isla de La Palma con los representantes de la UNESCO, OMT, IAU, PNUMA-CMS, CE, SCDB, Programa MaB y la Convención Ramsar.

En esta conferencia se realiza la Declaración de La Palma en la que se apela a la comunidad internacional y se instan a los gobiernos a tomar las medidas necesarias para informar y sensibilizar al conjunto de implicados en la protección del medio ambiente nocturno a adoptar los siguientes principios y objetivos:

1. El derecho de la humanidad a disfrutar de un cielo nocturno no contaminado.
2. El problema del cielo oscuro debe ser abordado de la misma forma en que abordan los problemas relativos al medio ambiente y a los recursos patrimoniales.
3. la conservación, la protección y la puesta en valor del patrimonio natural y cultural asociado a la visión del firmamento, representa un ámbito privilegiado para la cooperación y defensa de la calidad del cielo”. Ello implica el esfuerzo por redescubrir el valor del cielo nocturno como parte viva de nuestro legado patrimonial y de nuestra cultura cotidiana.
4. Considerar la promoción de los valores científicos y culturales en los contenidos básicos a incluir en la actividad educativa de todos los ámbitos.
5. El control de la contaminación lumínica como un requisito dentro de las políticas de conservación de la naturaleza y de gestión de las áreas protegidas, como formas efectivas de protección del medio natural y la conservación de la diversidad biológica.
6. La noche estrellada forma parte del paisaje y por lo tanto debe ser considerada en los ordenamientos jurídicos del territorio para la preservación de la calidad del cielo nocturno y con ello garantizar el disfrute de todos a su disfrute.
7. Promover un uso racional de la iluminación artificial para evitar sus impactos nocivos sobre seres humanos y la vida en la naturaleza. Asimismo, incentivar y asegurar un “uso responsable de la luz artificial por parte de todos los usuarios, integrando esta dimensión en la planificación y en las políticas de sostenibilidad energética, las cuales habrán de apoyarse en mediciones de la contaminación lumínica, tanto desde la tierra como desde el espacio. Tal actitud implica un uso más eficiente de la energía en consonancia con los acuerdos sobre el cambio climático y la protección del medio ambiente”.
8. Considerar los observatorios astronómicos como un bien escaso en el planeta, y su conservación representa un esfuerzo mínimo en comparación con los beneficios que aportan al conocimiento y al desarrollo científico y tecnológico. “La protección de la calidad de los cielos en estos espacios singulares deberá constituir una prioridad en las políticas medioambientales y científicas de carácter regional, nacional e internacional. Habrán de extremarse las medidas y disposiciones que permitan proteger tales espacios de los efectos nocivos de la contaminación lumínica, radioeléctrica y atmosférica.”
9. La incorporación del paisaje nocturno a la actividad turística como instrumento para fomentar la calidad del cielo nocturno, para ello se puede incorporar y generar la observación nocturna del firmamento como productos turísticos.
10. “Los espacios pertenecientes a la Red Mundial de Reservas de la Biósfera, los Sitios Ramsar, los declarados Patrimonio de la Humanidad, los Parques Nacionales o las

Reservas Naturales que combinan valores excepcionales naturales o paisajísticos dependientes de la calidad del cielo nocturno, están llamados a integrar la protección de los cielos limpios como un factor clave que refuerza su función de conservación de la naturaleza”.

Producto de estas medidas, la iniciativa de la IAU y los gobiernos locales se han promovido normas y regulaciones en las adyacencias de los observatorios astronómicos, así como la creación de oficinas técnicas de protección de los cielos oscuros en diferentes sitios como San Diego (California, USA), las islas Canarias (España), Tucson (Arizona, USA), Flagstaff (Arizona, USA), Kona (Hawái) y el norte de Chile (figura 11).



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Iniciativas legales internacionales para el control de la contaminación lumínica

En el estado de Arizona (USA) en los condados de Pima y Tucson, donde se ubica el Kitt Peak National Observatory, desde el año 1972 existen regulaciones para el control de la contaminación lumínica.

En el año 1985 se aprueba en el condado de San Diego (USA) una ordenanza para el control de la contaminación lumínica (San Diego Light Pollution Law) para proteger las observaciones astronómicas. La ciudad y el condado adoptaron leyes y regulaciones para controlar la contaminación lumínica. El condado de San Diego (USA) establece y reconoce la necesidad e importancia de proteger las investigaciones y observatorios astronómicos en el Monte Palomar y Monte Laguna estableciendo un radio de 15 millas alrededor de los mismos y dos zonificaciones para la iluminación con sus respectivas regulaciones.

En España los intentos por legislar o regular la prevención de la contaminación lumínica inicia en 1988 con la aprobación de la Ley del Cielo (Ley 31/1988) y el Reglamento (R.D. 243/1992) que la regula, modificado en 2017, para preservar la calidad astronómica de los observatorios de Canarias que pudiese ser afectada por contaminación lumínica, contaminación radioeléctrica, contaminación atmosférica y rutas aéreas. Para facilitar la aplicación de esta ley se crea en 1992 la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC).

A estas iniciativas se suman otras comunidades autónomas del estado español, Cataluña, en mayo del año 2001, aprueba la Ley 6/2001 para la ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno. Le siguen las Islas Baleares (2005), Navarra (2005), Cantabria (2006) y Andalucía (2007).

En el año 2004 la OTPC elabora un conjunto de recomendaciones para lograr los objetivos de protección de los cielos oscuros. Ello incluye parámetro que permita la certificación de las luminarias públicas y lámparas a ser instaladas en las áreas de protección lumínica.

En el año 1999 se aprueba en Chile la Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica en el Norte de Chile. Asimismo se crea la Oficina para la Protección de la Calidad de los Cielos en el Norte de Chile (OPCC) con los objetivos esta promover la protección del cielo oscuro como patrimonio cultural y científico; promover el impacto positivo para el ambiente, la reducción del consumo de energía y mejorar la eficiencia de la iluminación urbana.

Esa norma se complementa en 2019 con la aprobación de la Ley N° 21,162 que modifica la ley N° 19,300, Ley sobre las Bases Generales del Medio Ambiente, en la que se establece la exigencia de elaborar un Estudio de Impacto Ambiental en los proyectos que puedan generar contaminación lumínica en las zonas de interés astronómico.

Contexto Nacional Mexicano

El objeto del presente apartado es realizar un análisis de la legislación desarrollada en México para la protección del medio nocturno frente a la contaminación lumínica. Para ello se realizó la revisión de los diferentes instrumentos legales a los fines de presentar una visión integral del funcionamiento de las estructuras federales, locales y municipales. Este marco legal incluye la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Leyes estatales, normas municipales y normas técnicas mexicanas.

En el artículo 4 párrafo 5 a nivel constitucional se plantea que “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”.

El Artículo 115 , párrafo 2 establece que “Los ayuntamientos tendrán facultades para aprobar, de acuerdo con las leyes en materia municipal que deberán expedir las legislaturas de los Estados, los bandos de policía y gobierno, los reglamentos, circulares y disposiciones administrativas de observancia general dentro de sus respectivas jurisdicciones, que organicen la administración pública municipal, regulen las materias, procedimientos, funciones y servicios públicos de su competencia y aseguren la participación ciudadana y vecinal”.

Por otra parte, el Artículo 115, fracción 3, establece el régimen jurídico del municipio y las funciones y competencias con respecto a los servicios públicos, en el cual se incluye el alumbrado público. Asimismo, establece la administración libre de su hacienda por los ingresos derivados de la prestación de servicios públicos a su cargo.

El artículo 121 establece que el ámbito territorial de las leyes de los estados será su propio territorio. A nivel estatal destaca que la Ley de Equilibrio Ecológico del estado de Nayarit, Quintana Roo, Chiapas, entre otros, el tema de la contaminación lumínica es considerada de manera general en el capítulo Prevención y Control de la Contaminación Visual y la Generada por Ruido, Vibraciones, Energía Térmica, Energía Lumínica y Olores. Esta mención sólo hace referencia a la contaminación lumínica como parte de otras problemáticas y asociándola a:

- Contaminación Visual: Alteración de las cualidades de la imagen de un paisaje natural o urbano, causada por cualquier elemento funcional o simbólico, que tenga carácter comercial, propagandístico o de servicios;
- Contaminación generada por energía lumínica

Incluye la prohibición de la emisión de energía lumínica “en cantidades que excedan los límites máximos permisibles contenidos en las Normas Oficiales Mexicanas, así como en contravención a lo establecido en el reglamento de esta Ley, criterios y normas técnicas ambientales que para tales efectos expida la Secretaría”.

Ello se corresponde con lo establecido por la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA) y en general, podemos concluir que la contaminación lumínica está asociada a los anuncios publicitarios por lo tanto sólo considera la contaminación visual.

Asimismo, es importante destacar que, si bien el tema no es contemplado directamente en ninguna ley, debe considerarse en otras leyes como las que incluyen los lineamientos para el desarrollo de los asentamientos humanos en el país, la conservación ambiental, entre otros.

A nivel Federal, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, emite un conjunto de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de eficiencia energética e iluminación, para proponer las directrices para la iluminación de los diferentes espacios (tabla 6). Se relacionan con la contaminación lumínica porque establecen un conjunto de normas a seguir para la instalación de los alumbrados públicos, el uso de lámparas LED, la iluminación a utilizar en los diferentes espacios públicos, entre otras.

Norma	Contenido
NOM-007-ENER-2014	Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
NOM-013-ENER-2013	Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades
NOTA Aclaratoria a la Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013	Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.
NOM-017-ENER/SCFI-2012	Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba.
NOM-028-ENER-2010	Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.
RESOLUCIÓN por la que se modifica el numeral 2. Campo de aplicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2010	Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.
RESOLUCIÓN por la que se modifica el numeral 5.1 de la Norma Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2010.	Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.
NOM-030-ENER-2016	Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.
NOM-031-ENER-2012	Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba.

Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-en-eficiencia-energetica-iluminacion>

Tabla 6. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de eficiencia energética e iluminación

Contexto local en Baja California

En el año 2011 se modifica la Ley de Protección del Ambiente del Estado de Baja California para incluir el Capítulo V relativo a la Prevención y control de la contaminación lumínica. En su artículo 120 establece las facultades de la Secretaría de Protección del Ambiente para la prevención y control de la contaminación lumínica, entre las que se incluyen las siguientes:

I.- Promover la creación y ejecución del Programa para la Prevención y Control de la Contaminación Lumínica, en apego a lo dispuesto en esta Ley, en la Ley General y las Normas Oficiales Mexicanas;

II.- Promover la realización de estudios y proyectos destinados a prevenir y controlar la contaminación lumínica en los municipios de la entidad;

III.- Apoyar a los Municipios en la elaboración y aplicación de sus reglamentos, normas y programas para prevenir la contaminación lumínica y sujetar a los establecimientos comerciales y de servicios a los requerimientos que consideren pertinentes en la materia;

IV.- Promover campañas y actividades de capacitación, difusión y sensibilización sobre la importancia de prevenir la contaminación lumínica; y

V.- Promover convenios de colaboración con organismos e instituciones de investigación local, nacional e internacional, interesadas en la preservación de la calidad de la atmósfera.

Asimismo, en el artículo 121 establece las facultades de los municipios la prevención y control de la contaminación lumínica:

I.- Participar en la elaboración del Programa para la Prevención y Control de la Contaminación Lumínica, en apego a lo dispuesto en esta Ley, en la Ley General y las Normas Oficiales Mexicanas;

II.- Promover las disposiciones de protección ambiental para evitar la contaminación lumínica, en el ámbito de su competencia, en particular;

a) La regulación de los establecimientos mercantiles o de servicios;

b) En materia de alumbrado público;

c) En materia de edificaciones;

d) En materia de imagen urbana, y

e) En general aquellas que pudieran generar contaminación lumínica.

III.- Integrar y mantener actualizado el inventario de luminarias y coordinarse con el gobierno estatal para la integración del inventario en el Estado;

IV.- Promover campañas y actividades de capacitación, difusión y sensibilización sobre la importancia de prevenir la contaminación lumínica; y

V.- Promover convenios de colaboración con organismos e instituciones de investigación local, nacional e internacional, interesadas en la preservación de la calidad de la atmósfera.

Existen diferentes iniciativas de los gobiernos locales para la regulación de las instalaciones de alumbrado en lo referente a contaminación lumínica y eficiencia energética. Destaca la primera norma aprobada en Baja California para la protección del cielo nocturno de la contaminación lumínica conocida como el Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada, Baja California aprobado en el año 2006. Posteriormente, en el año 2010 y 2019 aprueban similar normativa (figura 12).

Destacan las acciones en el marco de esta normativa que implemento en el año 2016 el Municipio de Ensenada en la sustitución de las luminarias de alumbrado público, las cuales serán revisadas a mayor profundidad en el apartado de resultados.

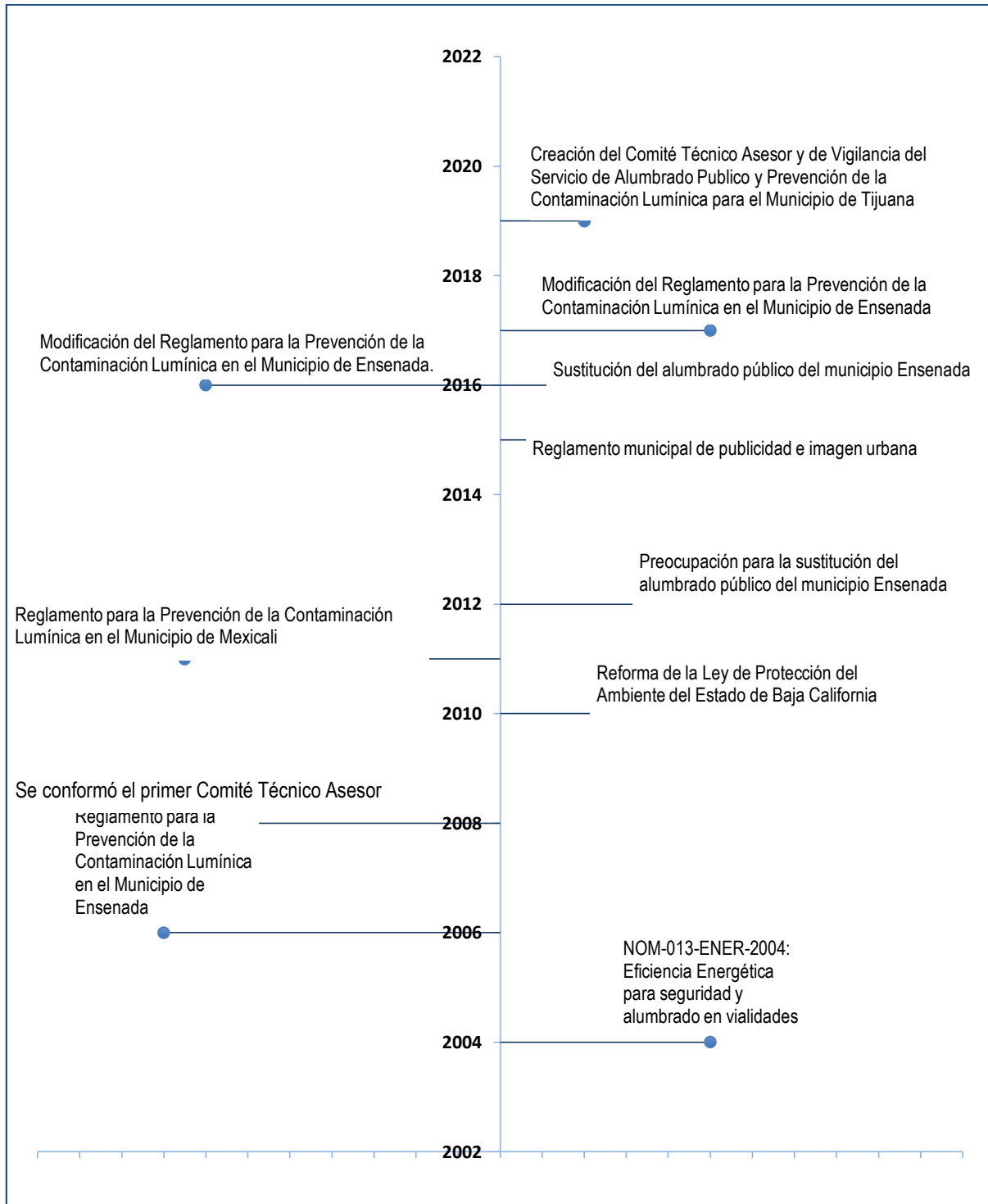


Figura 12. Reglamentaciones aprobadas para la prevención de la contaminación lumínica en Baja California

6. Antecedentes de la conservación de los cielos oscuros

La pérdida de los cielos oscuros para las observaciones astronómicas ha sido estudiada a nivel internacional desde la fundación de la Unión Astronómica Internacional (IAU) en el año 1919 y de las comisiones grupos de trabajo en las cuales se establecen las bases para proteger los sitios de los observatorios actuales y potenciales de la contaminación lumínica en todas las longitudes de onda del espectro electromagnético (IAU, 1976).

Asimismo, desde la Comisión 50 de la IAU se procura generar propuestas para prevenir, controlar y reducir la contaminación lumínica promoviendo el establecimiento de legislaciones y otros tipos de regulaciones a los diferentes niveles de gobierno; además de emprender vínculos con grupos de aficionados preocupados por esta temática, entre ellas la Asociación de Cielos Oscuros (IDA) (IAU, s/f).

A partir de estas recomendaciones se institucionaliza la protección de los cielos oscuros y la evaluación de las condiciones actuales de los cielos oscuros en las áreas adyacentes a los observatorios astronómicos. Inicialmente, se proponen metodologías para el estudio y caracterización de las fuentes de contaminación lumínica, su cuantificación, propuestas de instrumentos de medición y modelos de análisis.

Asimismo, desde otras disciplinas se empieza a estudiar la contaminación lumínica por sus implicaciones asociadas con la alteración de la salud humana, la alteración de los ecosistemas, los cambios en los patrones migratorios de aves y fauna marina, seguridad vial y un considerable gasto energético y desperdicio lumínico (González, Yáñez-Navea y Muñoz, 2014).

La preocupación de los astrónomos agrupados en la IAU ahora es compartida con los organismos gubernamentales en los países donde se ubican los principales observatorios astronómicos, asociaciones civiles, organizaciones ambientales locales e internacionales como la UNESCO y el Consejo Internacional de Asociaciones Científicas (International Council of Scientific Unions-ICSU-) entre otros. Estas agrupaciones de actores se han organizado en conferencias internacionales e iniciativas como la “Declaración sobre la Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas (Declaración de La Palma, 2007) y la Declaración sobre la Reducción de los Impactos Ambientales Adversos a la Astronomía (1992).

También se amplían los programas de la divulgación de metodologías para el conteo de estrellas, apagar los grandes monumentos históricos de la hora de la tierra y a nivel local, en las adyacencias de los observatorios, legislaciones internacionales denominadas “leyes del cielo”

para proteger la calidad del cielo nocturno, las observaciones astronómicas, el uso y consumo eficiente de la energía eléctrica, la luz intrusa e iluminación apropiada en los ámbitos urbanos.

En el área del OAN-SPM se han realizado esfuerzos para la protección de sus cielos oscuros y caracterización de los mismos, se están desarrollando metodologías para la cuantificación de la problemática, aprobación de normas de iluminación en los municipios, entre otros. A continuación, se presentan algunos estudios de referencia sobre estos tópicos.

Tapia, Hiriart, Richer y Cruz-González (2007) realizaron una caracterización astronómica del sitio e incluyeron aspectos como: estabilidad atmosférica, calidad de imagen, opacidad atmosférica en el visible, infrarrojo y milimétrico, brillo del cielo nocturno y nubosidad.

Por su parte Gagik et al. (2016) tomaron datos en su estudio de caracterización astroclimática de Vallecitos, en la sierra de San Pedro Mártir, como un sitio candidato para instalar el Arreglo de Telescopios Chereskov (CTA, en inglés) para el estudio del universo en rayos gamma de muy alta energía. Para ello, utilizaron un multisensor denominado ATMOSCOPE para medir las condiciones atmosféricas y del cielo. Adicionalmente hicieron comparaciones entre las condiciones de Vallecitos y el observatorio óptico San Pedro Mártir.

Estos autores resaltan la gran cantidad de estudios que se han realizado desde 1977 en el área de San Pedro Mártir para caracterizar las condiciones atmosféricas que son de importancia para operar los telescopios ópticos-infrarrojos.

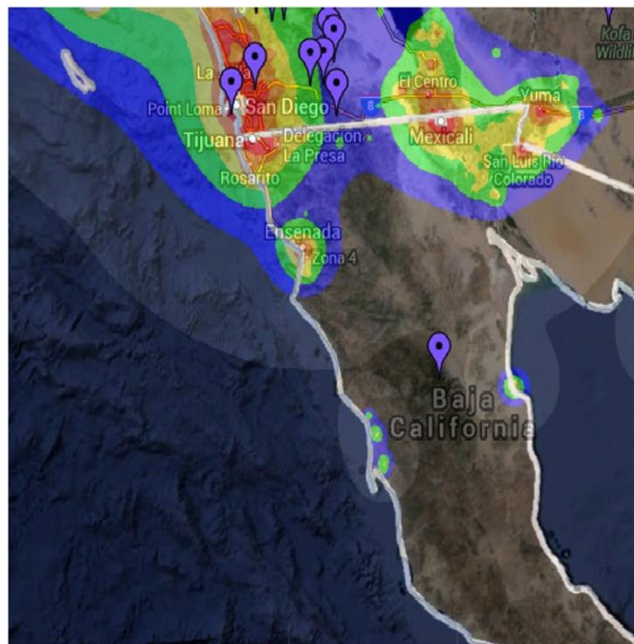
Como resultado obtuvieron una explicación de las óptimas condiciones del OAN-SPM se relacionan por las condiciones microclimáticas de Vallecitos y confirmaron que SPM es uno de los pocos sitios en el planeta con condiciones adecuadas para la investigación astronómica. A pesar de los óptimos resultados el sitio seleccionado para la instalación del CTA fue La Palma, España.

En cuanto al brillo del cielo nocturno (NSB), se realizaron mediciones en noches sin luna, por varios meses en el año 2013 utilizando filtros U, B, V y R y sus resultados mostraron valores del cielo más brillantes en abril que en febrero y que ello se explica por la actividad estacional (tabla 7).

Filter mag arcsec ⁻²	UT Date			rms
	2013 Feb 18	2013 Apr 02	2013 Apr 06	
U	22.04 ± 0.07	21.95 ± 0.11	21.11 ± 0.17	0.51
B	22.56 ± 0.05	22.42 ± 0.07	22.23 ± 0.11	0.17
V	22.08 ± 0.04	21.44 ± 0.05	21.51 ± 0.08	0.35
R	21.17 ± 0.03	20.65 ± 0.03	21.04 ± 0.07	0.27
I	19.93 ± 0.02	18.98 ± 0.02	19.6 ± 0.06	0.21

Tabla 7. Datos de Brillo del Cielo Nocturno en el OAN, 2013

Asimismo, confirmaron que desde Vallecitos no es visible la iluminación artificial de las poblaciones adyacentes, a diferencia de la vista del OAN donde es notable en el horizonte en dirección noreste de las áreas urbanas a lo largo de la frontera México-USA y la costa del golfo de California (Gagik et al., 2016). En el mapa el punto central representa la ubicación de SPM en la zona norte se presentan los centros poblados más próximos.



El punto central representa la ubicación de SPM en la zona norte se presentan los grandes centros poblados más próximos: Ensenada, Mexicali, Tijuana en México y en USA: San Diego y Yuma. Fuente: www.jshine.net/astronomy/dark_sky/ ;citado por Gagik et al., 2016.

Figura 13. Mapa de la contaminación lumínica del norte de Baja California.



Diferentes poblaciones que son focos de contaminación lumínica, municipio de Ensenada (Ensenada, San Vicente, L. Cárdenas); municipio de Mexicali (Mexicali, San Felipe); municipio de Tijuana (Tijuana); USA (San Diego). Fuente: Fernando Ávila.

Figura 14. Vista al norte del OAN - SPM y diferentes poblaciones que son focos de contaminación lumínica a 150 y 200 kilómetros

Otros estudios y mediciones realizadas por Plauchu-Frayn et al. (2016), Cruz González, Ávila y Tapia (2016), Tovmassian, 2016 caracterizan los cielos oscuros para SPM y obtienen datos de los cielos oscuros de aproximadamente 22 magnitudes, lo cual evidencia la alta calidad del cielo del OAN, que lo coloca entre los cuatro mejores lugares del mundo para la observación astronómica óptica e infrarroja. Los otros tres lugares son la isla de Hawái, las Islas Canarias, frente a la costa de África, y las montañas de Chile (tabla 8).

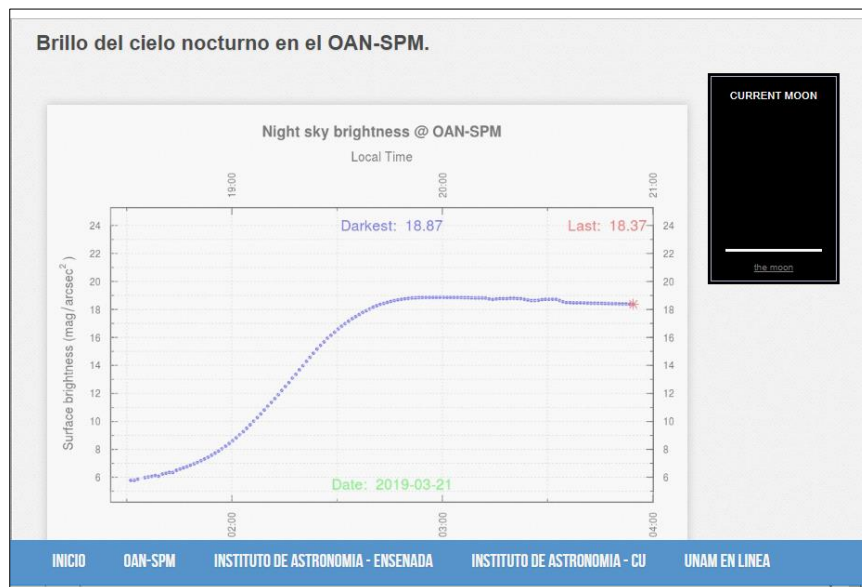
Night Sky Brightness Measurements.

	'05-'06	'13			'13-'16			
Filter		Feb 18	Apr 02	Apr 06	NSB $\pm \sigma$	NSB _{min}	NSB _{max}	NSB _{2σ} $\pm \sigma$
U	21.7	22.04 \pm 0.07	21.95 \pm 0.11	21.11 \pm 0.17	22.27 \pm 0.21	21.56	22.84	22.68 \pm 0.20
B	22.4	22.56 \pm 0.05	22.42 \pm 0.07	22.23 \pm 0.11	22.56 \pm 0.15	22.05	23.26	23.10 \pm 0.12
V	21.5	22.08 \pm 0.04	21.44 \pm 0.05	21.51 \pm 0.08	21.59 \pm 0.12	21.05	22.11	21.84 \pm 0.11
R	20.7	21.17 \pm 0.03	20.65 \pm 0.03	21.04 \pm 0.07	20.21 \pm 0.17	20.36	21.46	21.04 \pm 0.12
I	19.2	19.93 \pm 0.02	18.98 \pm 0.02	19.6 \pm 0.06	19.51 \pm 0.17	18.81	19.90	19.36 \pm 0.16
SQM					21.62 \pm 0.16	21.10	22.04	21.88 \pm 0.15

Fuente: Fernando Ávila C., 2016 (datos a partir de Tapia et al., (2007); Gagik et al., (2016), Plauchu-Frayn et al. (2016), Tovmassian (2016)).

Tabla 8. Medidas de brillo del cielo nocturno para SPM el año 2013

En la actualidad, en el OAN-SPM se realiza el monitoreo del brillo del cielo en tiempo real con Medidores de Calidad del Cielo (SQM). También desde octubre de 2018 está instalado un fotómetro TESS con una banda de respuesta más amplia que la del SQM. ²Es pertinente aclarar que estos datos son de carácter puntual en el área del observatorio (figura 15).



Fuente: imagen tomada de <http://haro.astrossp.unam.mx/indexspm.html>
Figura 15. Dato del brillo del cielo nocturno del OAN – SPM para el día 20-03-19

²https://tess.dashboards.stars4all.eu/d/datasheet_stars213/stars213?orgId=1

Con respecto a la representación espacial de la distribución de la contaminación lumínica en el área no se han realizado estudios. Sin embargo, algunos autores como Sánchez de Miguel (2015) han aplicado el análisis espectral, temporal y espacial de la contaminación lumínica y sus fuentes con el uso de imágenes satelitales de algunas zonas de España. Por su parte Falchi *et al.* (2016) realizaron un mapeo de grandes territorios del brillo artificial del cielo nocturno, para ello procesaron imágenes satelitales de todo el mundo. Sin embargo, este mapa no permite realizar estudios espaciales y temporales que permitan comparar los cambios en la contaminación lumínica.

Por otro lado, Solano (2010) realizó un análisis de los factores que afectan a zonas naturales expuestas a la contaminación lumínica y desarrolla un modelo de caracterización de esta problemática en áreas con fuentes identificadas. Para ello el autor realizó mediciones fotométricas en México y España.

En cuanto a los estudios de la contaminación lumínica en las adyacencias del OAN destaca el estudio de Díaz (2016), quien realizó una propuesta de análisis de los factores normativos y metrológicos que intervienen en la contaminación lumínica de una zona urbana de Ensenada.

En cuanto a la reglamentación de las adyacencias del OAN destaca en el año 2006 la publicación del Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada; con el objeto de prevenir, reducir y evitar la contaminación lumínica en el municipio Ensenada. Esta reglamentación fue igualmente aprobada en los municipios de Mexicali (2011) y Tijuana (2019).

Como producto de esta revisión bibliográfica se puede destacar que los estudios de la contaminación lumínica en las adyacencias del OAN-SPM están relacionados principalmente en la medición de la contaminación lumínica desde los telescopios del OAN a su área circundante a través de monitoreos fijos, la identificación de factores metrológicos en la zona urbana, unas imágenes del atlas mundial de la contaminación lumínica y la promulgación de reglamentos para la prevención de la contaminación lumínica en los municipios de Ensenada, Mexicali y Tijuana de Baja California.

Planteamiento del problema

La astronomía es la ciencia más antigua en el estudio del universo y es por ello que tiene un impacto en la cultura y el conocimiento actual de la humanidad. Como ciencia dinámica ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías y mejoras de algunas de ellas como cámaras fotográficas, nuevos tipos de aleaciones más livianas, sensores infrarrojos, GPS, satélites y comunicaciones, computadoras más rápidas y de mayor capacidad, telemática, sincronización de data a distancia, entre otras, (Hernández, 2019; comunicación personal).

Los observatorios astronómicos son el conjunto de instrumentos utilizados para la observación de los objetos celestes, para ello deben estar emplazados en sitios con condiciones especiales con turbulencia atmosférica mínima, buen número de noches despejadas al año, lejanía de áreas con iluminación artificial, extinción atmosférica baja, entre otras (Stock, 1964; citado por Brieva, 1988)

Las condiciones de brillo natural del cielo nocturno, cercanía a centros poblados, nubosidad, topografía y humedad y las grandes edificaciones que se requieren para instalas los instrumentos, representan obras de inversión donde los gobiernos procuran garantizar la continuidad de las observaciones astronómicas y por ende la soberanía científica y cultural de la nación.

Al ser condiciones tan específicas son pocos los observatorios astronómicos que existen en el mundo, algunos de los cuales debieron ser trasladados o cerrados ante el crecimiento de los centros poblados adyacentes y el incremento desmesurado de los sistemas de iluminación que originó la pérdida de los cielos oscuros por el abrillantamiento que impide la observación y amenaza a las actividades y aportes de que se realizan en estos centros.

Esta problemática es denominada contaminación lumínica, definida como “la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se han instalado las luminarias” (BOE, 2001). La contaminación lumínica incide directamente en las imágenes y los formatos de captura de datos que se realizan desde los telescopios, a mayor contaminación lumínica disminuyen las capacidades de captura de objetos celestes poco luminosos (figura 16).

Es por ello que se dictan medidas especiales como normas y ordenamientos de áreas bajo un régimen especial de protección ambiental para los observatorios; y se promueven reglamentaciones a diferentes instancias gubernamentales conocidas internacionalmente como “Ley del Cielo”, aplicables a las áreas adyacentes a los observatorios. A nivel internacional, la UNESCO promueve la categoría de sitios de interés astronómico (World Heritage Sites) para

proteger la calidad de los cielos oscuros y el desarrollo de las actividades astronómicas en zonas libres de la amenaza de la contaminación lumínica.

La importancia del emplazamiento del OAN por sus condiciones geográficas, climáticas y relativa lejanía con los centros poblados fueran características importantes para su selección. Sin embargo, el crecimiento poblacional en el área, preocupó a los investigadores y desde el Instituto de Astronomía de la UNAM se inicia un acercamiento con las autoridades locales y estatales para la atención a esta problemática potencial de pérdida de los cielos oscuros (Ávila, 2016).

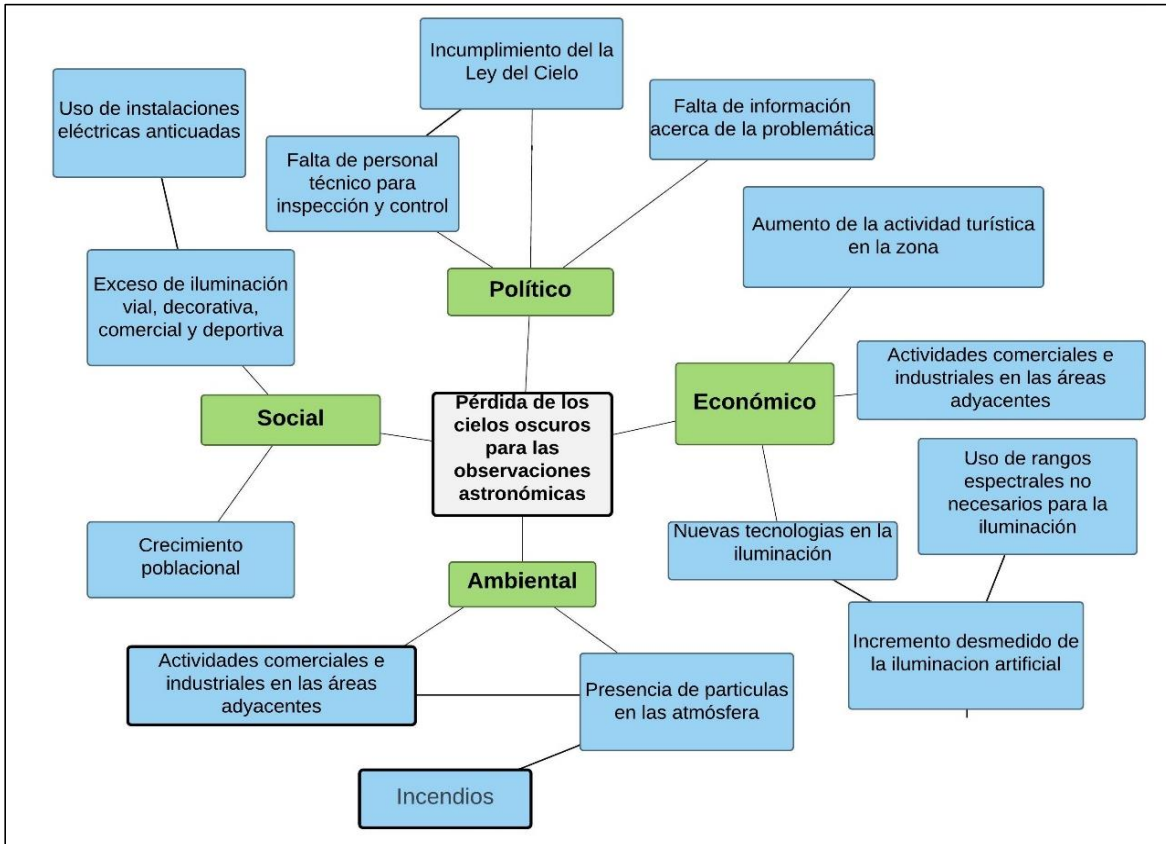
El OAN-SPM está ubicado en el municipio de Ensenada del Estado Baja California, está protegido por la figura de Parque Nacional y Reserva Forestal y en el año 2006 se inicia el proceso de protección de sus áreas adyacentes con la aprobación en el Ayuntamiento de Ensenada de un Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica (Ley del Cielo), la cual constituye la primera normativa en esta temática aprobada en México y que promueve el uso eficiente de la energía y el alumbrado público en esta municipio.

En ese marco legal, el municipio de Ensenada ha implementado algunas acciones específicas como la sustitución del alumbrado público, la incorporación de un reglamento para iluminación con pantallas electrónicas y la actualización del Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica. A nivel estatal se modifica la Ley de Protección del Ambiente del Estado de Baja California para incorporar la contaminación lumínica como uno de los problemas ambientales del estado y la necesidad de la protección del cielo nocturno.

Este contexto motiva y hace necesaria una evaluación de la gestión de este marco legal y una verificación de la efectividad en el cumplimiento de la normativa aprobada en el municipio de Ensenada. Todo ello con el fin de procurar la respuesta a las preguntas que se formulan a continuación: ¿se cumple el marco legal para la prevención de la contaminación lumínica del municipio Ensenada?, ¿quiénes son los actores en esta problemática?, ¿cuál es el contenido de la normativa?, ¿cumple el nuevo sistema de iluminación pública del municipio Ensenada con las normas del reglamento? ¿En qué espacios no se cumple la iluminación apropiada?, ¿se cumplen en la zona de máxima protección (100 km) los requerimientos necesarios para evitar la contaminación lumínica?

Este estudio aportará información de utilidad para caracterizar la problemática de la contaminación lumínica en el municipio de Ensenada y un análisis del cumplimiento de la normativa vigente con las actuales políticas de sustitución del alumbrado público. Asimismo, generará información de interés para la conducción de esta problemática en los municipios

Mexicali y Tijuana quienes recientemente aprobaron normativas similares y que también en algún momento incorporaran acciones de sustitución de alumbrado público.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Diagrama de sistemas al análisis de la problemática de la contaminación lumínica y su afectación a los observatorios astronómicos

Objetivos

Objetivo general

Analizar la gestión de la contaminación lumínica en las adyacencias del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir

Objetivos específicos

- Describir la contaminación lumínica en las adyacencias del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir
- Analizar el marco legal de la contaminación lumínica en las adyacencias del observatorio.
- Caracterizar el proceso de sustitución de luminarias públicas en el municipio de Ensenada.

Área de estudio

1. Caracterización del área del observatorio

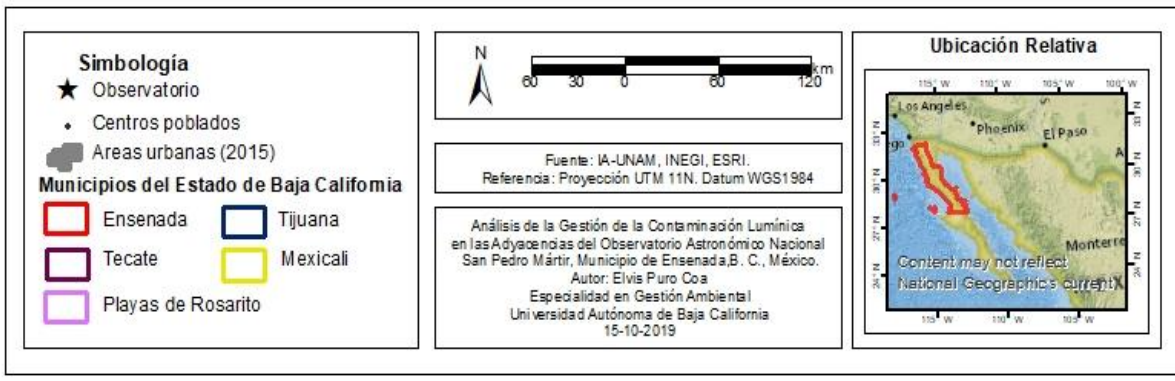
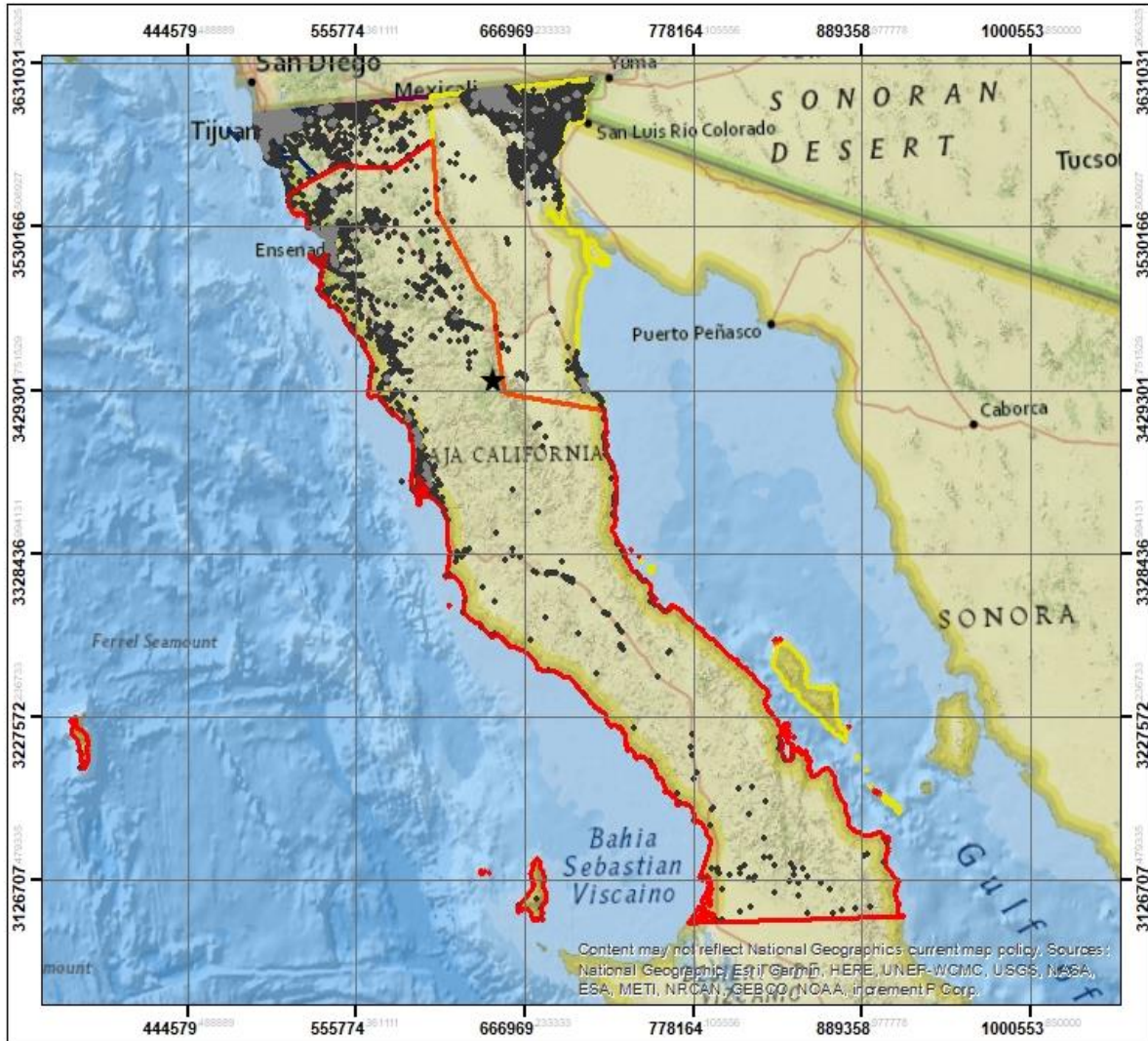
El Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir se ubica en la parte más alta de la sierra del mismo nombre, en jurisdicción del municipio Ensenada, Baja California, México, a una altitud de 2,830 m sobre el nivel del mar. Sus coordenadas son 31°02'39" N y 115°27'49" W (Cruz Gonzales et al., 2004) (figura 17).

Las características de la ubicación actual del observatorio que fueron relevantes para su selección incluyen las condiciones topográficas y climáticas que generan muchas noches claras y un excelente *seeing* que confieren observaciones astronómicas y captura de datos de alta calidad. Es por ello que el monitoreo de algunos aspectos del clima como la turbulencia atmosférica (*seeing*), nubosidad y humedad es útil para la planeación de las observaciones y la reducción de datos obtenidos. En cuanto a las características astronómica del sitio destacan: estabilidad atmosférica, calidad de imagen, opacidad atmosférica en el visible, infrarrojo y milimétrico, brillo del cielo nocturno y nubosidad. (Moreno-Corral et al., 1994; Tapia et al., 2007).

La importancia de la Sierra de San Pedro Mártir tanto para la protección de los recursos naturales, la observación astronómica y otras ciencias justificó que el área se incluyera como parte del sistema de áreas protegidas de México con la categorías de Parque Nacional (DOF, 1947), Reserva Forestal (DOF, 1951) y ratificada la declaración de interés público para la conservación y restauración de la riqueza forestal de las montañas para asegurar el desarrollo normal de la investigación astronómica, geográfica y demás disciplinas afines (DOF, 1975).

Moreno-Corral et al. (1994) en una síntesis de la trayectoria de la observación astronómica en México destaca la evolución y los procesos de modernización instrumental del OAN-SPM desde su original ubicación en el Palacio Nacional en 1867 y traslado al Castillo Chapultepec en las afueras de ciudad de México hasta su ubicación actual en la Sierra de San Pedro Mártir en Baja California en el año 1971. Del mismo modo, destaca como causa de las sucesivas mudanzas y cambios de sede, el incremento de la iluminación y la contaminación lumínica en sus adyacencias (figura 18).

Ubicación del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir, Municipio de Ensenada, Baja California, México



Fuente: elaboración propia

Figura 17. Mapa de ubicación del OAN-SPM

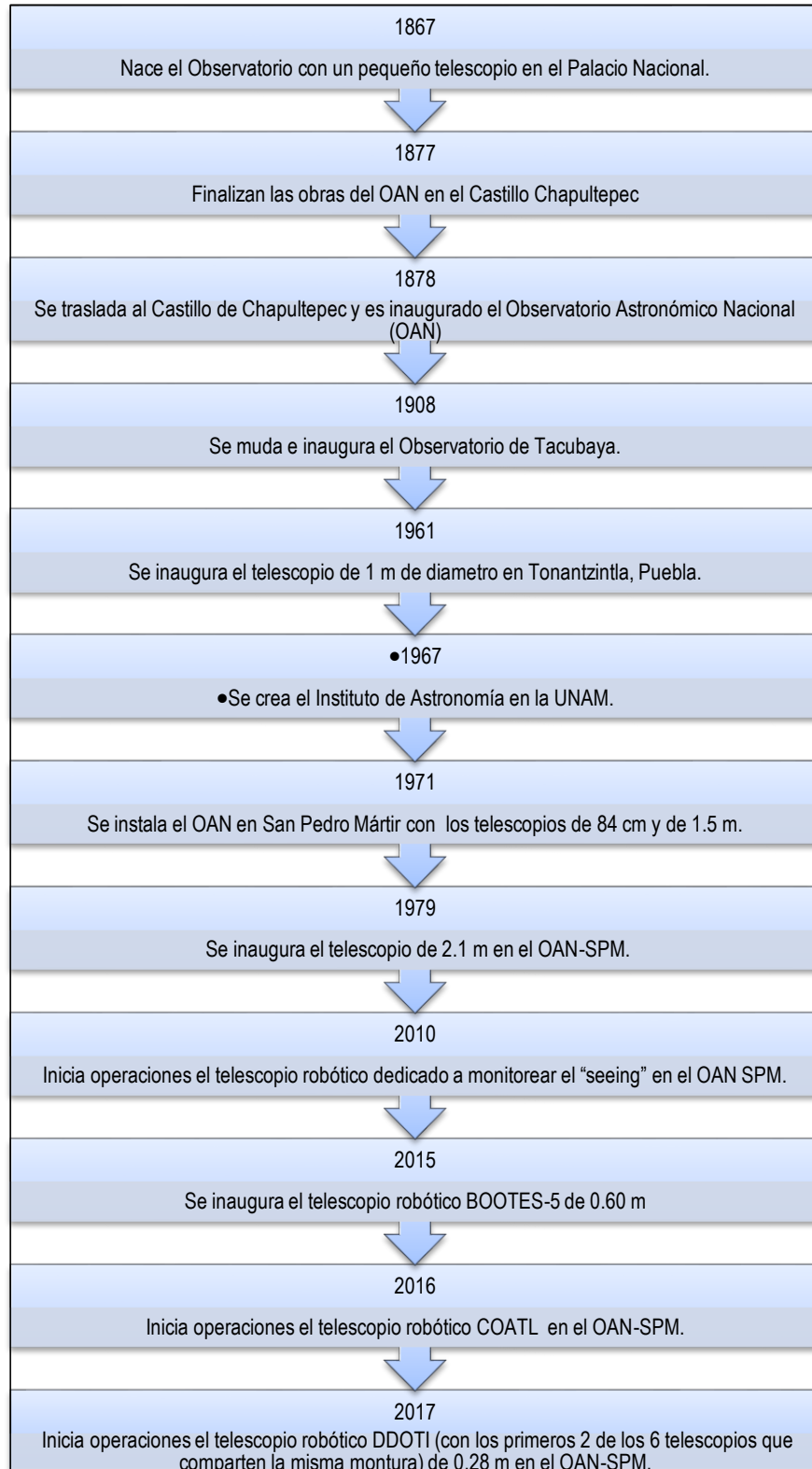




Figura 18. Hitos históricos en la astronomía mexicana

En la actualidad el OAN-SPM consiste en un conjunto de telescopios con diferentes diámetros ópticos donde se realizan una importante investigación en el área astronómica, las cuales han sido destacadas por el CONACYT como las siguientes:

- Ciencia básica: astronomía, física y ciencias afines
- Desarrollo tecnológico: telescopios e instrumentos astronómicos y desarrollos en óptica, mecánica, control, comunicaciones, detectores, técnicas de análisis y tratamiento de bases datos.

Los telescopios se encuentran en funcionamiento y otros están en etapa de diseño Como se muestra en la tabla 9.

Telescopio	Imagen	Instituciones	Descripción
OAN-2.1m		UNAM	De uso general con una amplia batería de espectrógrafos, cámaras y detectores.
OAN-1.5m		UNAM	Robotizado y dedicado a la cámara de 6 bandas simultáneas (UV-NIR) "RATIR".
OAN-0.84m		UNAM	Uso general con especialidad en fotometría, imagen astronómica y polarimetría.
COATLI		UNAM	Sistema robótico de 0.5m para imágenes al límite de Difracción. Instalado en 2017.
DDOTI		UNAM, ASU, NASA/GSFC	Sistema Robótico de Gran Campo, de 6 telescopios de 11" integrados, para localizar contrapartes de objetos transitorios y de ondas gravitacionales. Instalado en 2017

Bootes-5		UNAM, CSIC, IAA-	Para el seguimiento de transitorios, parte de la red internacional de telescopios robóticos Burst Optical Observer & Transient Exploring System. Instalado en 2015.
TAOS-II		UNAM, ASIAA, SAO	Sistema de 3 telescopios de 1.3m con cámaras ultra-rápidas para la detección y estudio de objetos transneptunianos. Inicia operaciones el 1er semestre del 2018. ü SAINT-EX (UNAM, UdB, UoC, UdG) telescopio robótico de 1m para la detección y estudio de exoplanetas. Iniciará operaciones en 2020.
GFT	Sin imagen	UNAM, AMU, CNES, CNRS	Telescopio de 1.3m robótico de respuesta rápida para el seguimiento de fuentes transitorias, especialmente aquellas detectadas por el satélite SVOM. En desarrollo,
TSPM	Sin imagen	UNAM, INAOE, UA, SAO	Telescopio de 6.5m en fase de diseño. La fase de construcción será de 5-6 años. Se complementará con el similar telescopio MMT de Mt Hopkins, Arizona, como un observatorio binacional.

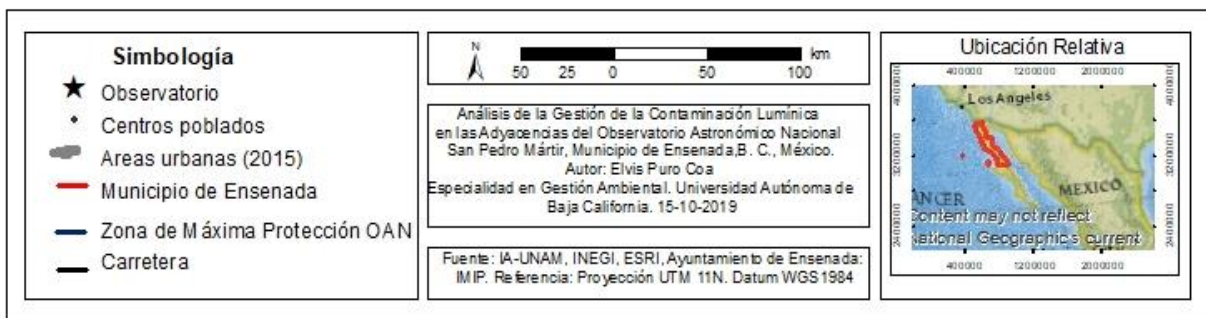
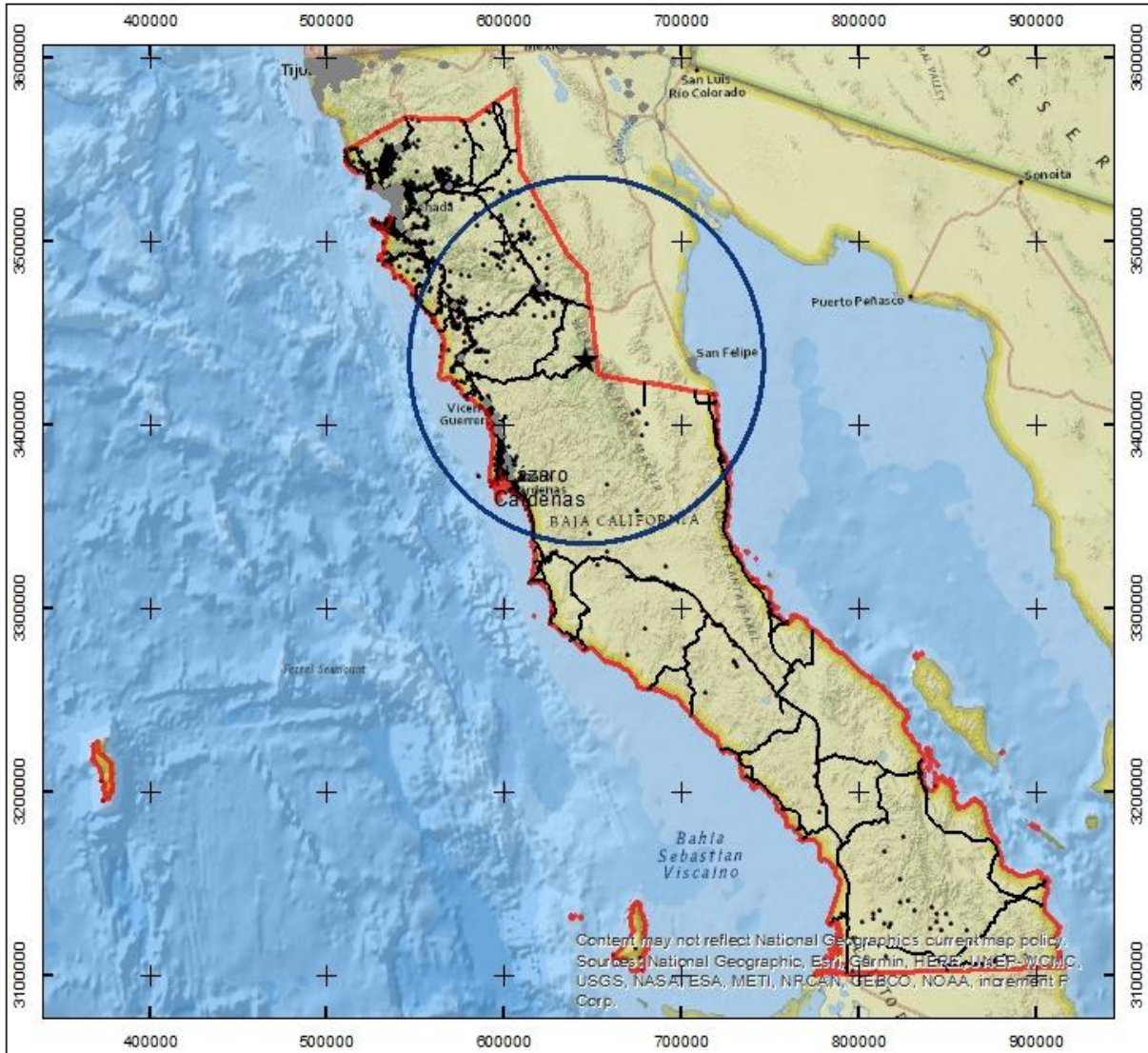
Fuente: Elaboración propia con datos e imágenes recuperadas de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/carteles-laboratorios/16532-oan-spm/file;> <http://www.astrosen.unam.mx/>

Tabla 9. Infraestructura Científica de Telescopios en el OAN-SPM

2. Delimitación y caracterización del área adyacente del observatorio

Para los fines de esta investigación se define como área de estudio los municipios del estado de Baja California, particularmente al territorio del municipio de Ensenada por ser el ámbito de aplicación del primer Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en México. En la actualización de dicho reglamento (2016), se delimita una Zona de Máxima Protección con un radio de cien kilómetros, razón por la cual se incluye en el presente apartado la descripción de los municipios y centros poblados “adyacentes” al Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir (figura 19).

Municipio de Ensenada y Zona de Máxima Protección del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir. Baja California, México



Fuente: elaboración propia

Figura 19. Municipio de Ensenada, Baja California

El estado de Baja California se encuentra ubicado al noroeste de la República Mexicana, en la parte norte de la península de Baja California. Sus coordenadas se ubican entre los meridianos 112° 48' y 117° 08' de longitud oeste y entre los paralelos 28° 00' y 32° 43' de latitud norte. Limita al norte al con Estados Unidos de América (USA), al sur con el estado de Baja California Sur, al Este con el golfo de California y al Oeste el océano Pacífico (Cruz Gonzales et al., 2004).

El estado de Baja California posee cinco municipios: Ensenada, Mexicali, Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito, los cuales albergan un total de 3,155, 070 habitantes (tabla 10).

Municipio	N° localidades	Población total	Porcentaje por municipio
Entidad	4,547	3,155,070	100
Ensenada	1,709	466,814	14.8
Mexicali	1,650	936,826	29.70
Tijuana	536	1,559,683	49.43
Tecate	445	101,079	3.2
Playas de Rosarito	207	90,668	2.87

Fuente: Plan de Ordenamiento Ecológico Baja California, 2014

Tabla 10. Distribución de la población en los municipios del estado de Baja California, 2010

El municipio de Ensenada se ubica en la península de Baja California y tiene una extensión territorial de 52,510.71 Km², se localiza en las coordenadas 28° 00' 00" - 32° 12' 10" de latitud norte y 115° 22' 50" - 116° 53' 03" de longitud oeste y limita al norte con los municipios Playas de Rosarito, Tijuana y Tecate; al noreste con el municipio Mexicali; al sur con el estado de Baja California Sur; al este con el Golfo de California; al oeste con el Océano Pacífico (Plan de Ordenamiento Ecológico Baja California, 2014).

Incluye 23 delegaciones con una población de 466,814 habitantes en 1,709 centros poblados, que representan el 14.8 % del estado de Baja California, distribuida espacialmente en un área de 52,482.40 km² dedicados principalmente a la actividad agrícola, industrial, turística y pesquera (INEGI, 2010). Posee 19 centros poblados con más de 2,500 habitantes, lo que les confiere la categoría de centros urbanos, entre los que destacan Ensenada, San Quintín, Lázaro Cárdenas, Vicente Guerrero, Camalú, Maneadero, El Sauzal, entre otros. Su ubicación corresponde a una distancia entre 46.29 km y 156.57 km (tabla 11).

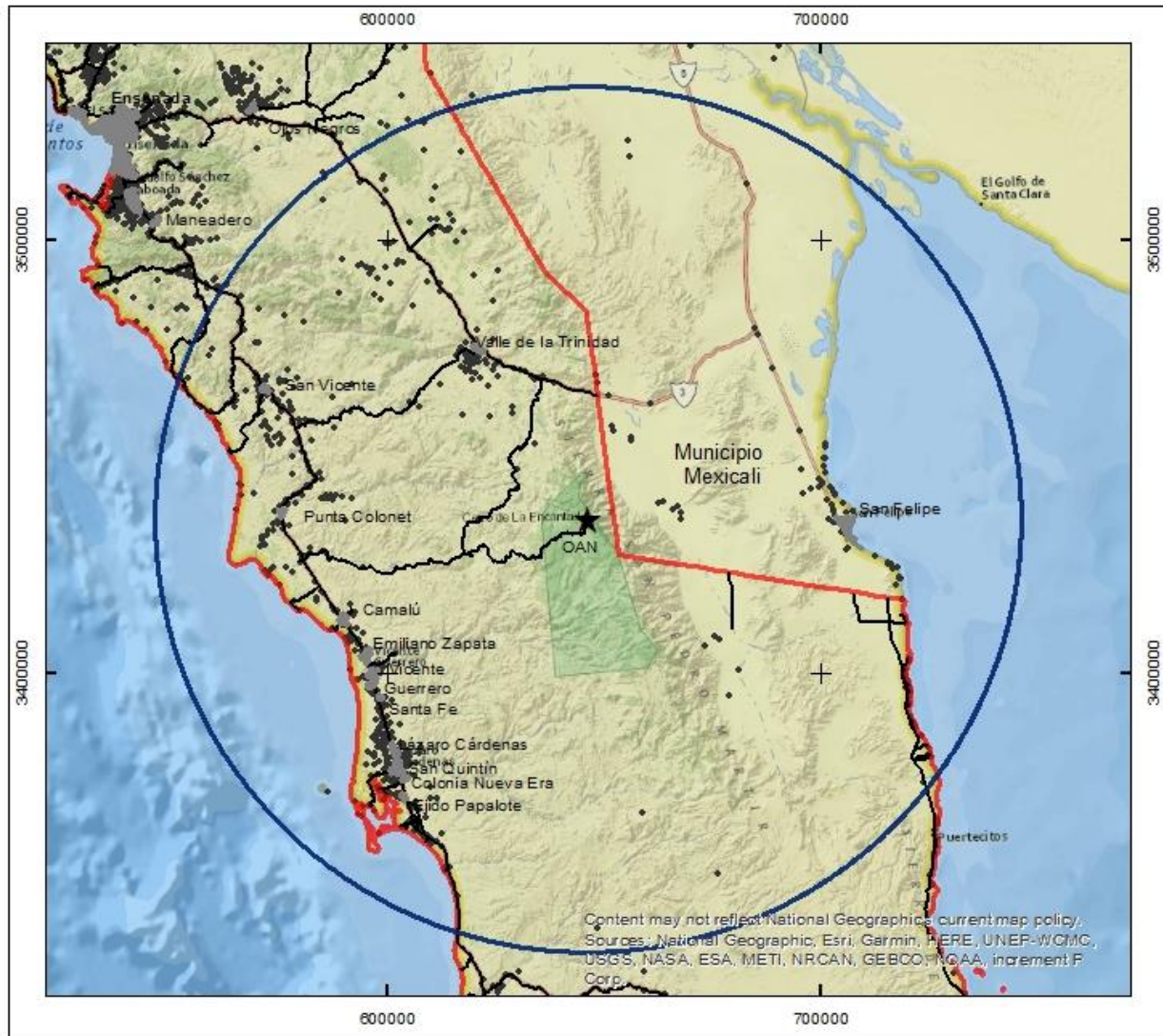
N°	Nombre de la localidad	Población Total	Distancia al OAN (km)
1	Francisco Zarco (Valle de Guadalupe)	2,664	156.57
2	El Sauzal de Rodríguez	8,832	149.80
3	Rancho Verde	2,758	143.77
4	Ensenada	279,765	140.81
5	Rodolfo Sánchez Taboada (Maneadero)	22,957	129.39
6	Real del Castillo Nuevo (Ojos Negros)	3,533	122.94
7	Benito García (El Zorrillo)	6,598	121.19
8	San Vicente	4,362	80.85
9	Ejido Papalote	3,413	76.88
10	Colonia Nueva Era	3,256	73.94
11	Lázaro Cárdenas	16,294	72.89
12	Ejido México (Punta Colonet)	3,278	70.78
13	San Quintín	4,777	70.45
14	Colonia Lomas de San Ramón (Triquis)	3,805	63.86
15	Santa Fe	2,632	63.36
16	Vicente Guerrero	11,455	61.2
17	Camalú	8,621	60.93
18	Emiliano Zapata	5,756	60.58
19	Lázaro Cárdenas (Valle de la Trinidad)	3,366	46.29
	Población total urbana	398,122	

Fuente: Elaboración propia con datos poblacionales de INEGI, 2010.

Tabla 11. Centros poblados urbanos del municipio Ensenada

El municipio de Ensenada incluye una Zona de Máxima Protección del OAN-SPM, aprobada en el Reglamento de Prevención de la Contaminación Lumínica, corresponde a la zona dentro del área incluido en un radio de 100 kilómetros tomando como centro la ubicación al OAN (figura 20).

Distribución de los centros poblados en la Zona de Máxima Protección del Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir. Municipio de Ensenada, B. C., México



<p>Simbología</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ Observatorio • Centros poblados ■ Areas urbanas (2015) — Municipio de Ensenada ○ Zona de Máxima Protección OAN — Carretera 	<p align="center">N 25 12.5 0 25 50 km</p> <p align="center">Análisis de la Gestión de la Contaminación Lumínica en las Adyacencias del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir, Municipio de Ensenada, B. C., México. Autor: Elvis Puro Coa Especialidad en Gestión Ambiental, Universidad Autónoma de Baja California. 15-10-2019</p> <p align="center">Fuente: IA-UNAM, INEGI, ESRI, Ayuntamiento de Ensenada; MIP. Referencia: Proyección UTM 11N. Datum WGS1984</p>	<p align="center">Ubicación Relativa</p>
--	--	---

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INEGI (2010).
 Figura 20. Distribución de los centros poblados en la zona de máxima protección del OAN – SPM (100 km), municipio de Ensenada.

La Zona de Máxima Protección del OAN-SPM incluye un total de 693 centros poblados en los municipios de Ensenada y de Mexicali (tabla 12).

Municipio	N° localidades en Zona de Máxima Protección	Población total
Ensenada	625	106,276
Mexicali	68	18,020
Total	693	124,296

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INEGI (2010).

Tabla 12. Número de Centros poblados (urbanos y rurales) en la Zona de Máxima Protección del OAN-SPM

De las 19 localidades urbanas del municipio de Ensenada, el 63.15% en la Zona de Máxima Protección. Esto corresponde con 12 localidades urbanas y una población de 71,015 habitantes en centros poblacionales como San Quintín, Camalú, Lázaro Cárdenas, Vicente Guerrero del municipio Ensenada y San Felipe del municipio Mexicali. Estas poblaciones se encuentran muy cercanas al OAN y cualquier tipo de crecimiento y desarrollo urbano no controlado y sin planificación de la iluminación generan afectación al OAN, ello sin descartar los efectos que por reflexión de la luz están generando las poblaciones más distantes (tabla 15).

N°	Nombre de la localidad	Población Total	Distancia al OAN (km)
1	Camalú	8,621	60.93
2	Lázaro Cárdenas	16,294	72.89
3	Ejido México (Punta Colonet)	3,278	70.78
4	San Vicente	4,362	80.85
5	Vicente Guerrero	11,455	61.2
6	Santa Fe	2,632	63.36
7	San Quintín	4,777	70.45
8	Lázaro Cárdenas (Valle de la Trinidad)	3,366	46.29
9	Emiliano Zapata	5,756	60.58
10	Ejido Papalote	3,413	76.88
11	Colonia Nueva Era	3,256	73.94
12	Colonia Lomas de San Ramón (Triquis)	3,805	63.86
	Total	71,015	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INEGI (2010)

Tabla 13. Centros poblados urbanos del municipio de Ensenada ubicados en la Zona de Máxima Protección del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir.

Metodología

Para el logro de los objetivos se aplicó una investigación mixta con el uso de técnicas documentales y de análisis para procesamiento de la información.

A continuación, se presenta la descripción de la metodología de investigación aplicada al presente estudio:

1. Revisión documental

Consistió en la búsqueda y revisión de decretos federales, del gobierno del estado de Baja California y municipio de Ensenada en la Biblioteca Federal Nacional y sitios web institucionales. Los resultados fueron organizados cronológicamente en una línea de tiempo y revisados sus planeamientos, destacando su importancia para las categorías de protección del área de estudio.

Asimismo, se realizó la revisión de información técnica de los censos lumínicos del municipio de Ensenada para caracterizar el sistema de iluminación del municipio antes y después de la modernización del alumbrado público en el año 2016. Se revisó la información poblacional disponible del INEGI para identificar la localización de los centros poblados en el municipio y la Zona de Máxima Protección del OAN-SPM.

2. Análisis de actores

Se identificaron los actores directos e indirectos en la gestión de la problemática de la contaminación lumínica en el municipio de Ensenada, para ello se utilizó la técnica de Fisher (1999) y se revisaron las diferentes modificaciones (2006, 2016 y 2017) del Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica para identificar aquellos actores que poseen responsabilidad legal. Asimismo, se realizaron conversaciones informales con funcionarios de la Departamento de Gestión y Previsión Ambiental del Ayuntamiento de Ensenada y Oficina de la Ley del cielo del instituto de astronomía de la UNAM, en Ensenada, para identificar otros actores.

La técnica de análisis de actores se utiliza en los análisis de políticas públicas para identificar los actores y su participación en una temática particular. En este caso se utilizó para identificar los actores directos e indirectos en la problemática de la contaminación lumínica y conocer el grado de participación e involucramiento en la aplicación del reglamento.

Fisher (1999) recopiló y aplicó esta técnica para la formulación y análisis de políticas en zonas costeras porque facilita el análisis de políticas y normas y han sido diseñadas para evaluar de manera más racional la información para un proceso de políticas públicas en la que debe definirse

“quién recibe qué, cuándo y cómo” (Lasswell, 1958). Por lo tanto, incluye los siguientes elementos:

- Una acción: alguien recibe.
- Acción con sentido: alguien de hecho debe recibir algo o negar algo.
- Acción con fondo: aquéllos que reciben, a menudo, con el tiempo reciben más.
- Acción legal: alguien recibe legalmente.

Su utilidad es antes y posterior a la aprobación de una normatividad, en el último caso debe enfocarse en determinar si realmente la política existente logra sus objetivos.

Esta técnica se utilizó para identificar las personas y grupos afectados por esta política particular y que de alguna manera generan influencia en la política a través de publicaciones en prensa, en revistas científicas, elecciones, presupuestos y permisos. Para ello se identifican los actores y se estima su influencia en los cambios, para ello se siguió el siguiente esquema propuesto por Fischer (1999) para identificar aquellos actores que tienen autoridad legal, los que tienen influencia política para promover u obstruir (vetar a los actores) y los que formal o informalmente influyen para vetar.

Asimismo, para la identificación del poder de los actores se aplicó un esquema con la forma de una matriz que muestra cuáles actores están o no involucrados (poder o compromiso) y cuáles están o no a favor (gran o poco apoyo). La tabla 14 ejemplifica el papel que tendrán los actores afectados por los cambios políticos en un caso particular. Previo a ello debe establecerse los actores directos e indirectos se estiman sus relaciones y sus redes de comunicación y poder.

Gran poder/compromiso, gran apoyo	Poco poder/compromiso, apoyo
Proponentes (agencias, bienes raíces, aliados)	Beneficios (aliados, empleados residentes)
Legisladores, reguladores	Expertos, medios
Opositores (agencias, ambientalistas, aliados)	Afectados (Residentes, usuarios de los recursos)
Gran poder/compromiso, apoyo	Poco poder/compromiso, apoyo

Fuente: Modificado de Fisher (1999)

Tabla 14. Esquema de las relaciones de poder e involucramiento.

3. Análisis de la Reglamentación para la Prevención de la Contaminación Lumínica

Se definieron criterios para verificar el cumplimiento del reglamento, para ello se revisaron las fichas técnicas de las luminarias adquiridas por el municipio de Ensenada y se compararon con las condiciones establecidas en el reglamento.

4. Caracterización del sistema de alumbrado público exterior del municipio Ensenada

A partir de la revisión de las normas técnicas mexicanas referidas a iluminación, con el apoyo del censo lumínico elaborado en el marco del proyecto de modernización del alumbrado público, el reglamento para la prevención de la contaminación lumínica del municipio Ensenada se logró caracterizar el sistema de alumbrado exterior. Se comprobó si el mismo cumplía con las normas establecidas en el reglamento e incluía a las comunidades que se ubican en la Zona de Máxima Protección.

5. Síntesis y representación de la información

Parte de la información obtenida en las etapas anteriores fue cartografiada para aportar elementos complementarios, pero fundamentales para el análisis y discusión de la problemática. Se integró la información en un SIG y se elaboraron las capas temáticas que se detallan a continuación:

1. Límites y centros poblados del municipio Ensenada que fueron obtenidas en los sitios webs del Ayuntamiento (IMIP) e INEGI.
2. Ubicación del OAN- SPM y el área de protección lumínica.
3. Ubicación y tipología de la iluminación pública del municipio de Ensenada.

Resultados y discusión

1. Análisis de actores

Con el uso de la técnica de análisis de actores se realizó el análisis de la gestión del Ayuntamiento de Ensenada en las políticas públicas relacionadas con la contaminación lumínica. Se identificaron los actores involucrados tanto de manera directa como indirecta en la política pública de gestión de la problemática de la contaminación lumínica. Los actores directos son aquellos que tienen facultades u obligaciones legales para la toma de decisiones en la materia. Los actores indirectos son aquellos que pueden emitir opiniones y brindar asesoría (Aguilar, 2018). Los actores identificados se muestran en la tabla 15:

N°	Actores		Directos	Indirectos	Facultad
1	Gobierno Estatal		Secretaría de Protección al Ambiente (SPA)		Promover la creación y ejecución del Programa para la Prevención y Control de la Contaminación Lumínica
2	Ayuntamiento del Municipio Ensenada		Ayuntamiento		Autoridades responsables de la vigilancia y del cumplimiento del Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio Ensenada, Baja California
			Presidente Municipal		
			Dirección de Catastro y Control Urbano		
			Dirección de Ecología Municipal		
		Inspectores habilitados para la aplicación del reglamento de prevención de la contaminación lumínica			
	Dirección de Administración Urbana, Ecología y Medio Ambiente	El Director de Administración Urbana, Ecología y Medio Ambiente del Ayuntamiento o la persona que designe			
	Regidores	El Regidor Coordinador de la Comisión de Desarrollo Urbano del Ayuntamiento		Como integrantes del Comité Técnico Asesor para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada. Supervisar y mejorar lo previsto en el Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio Ensenada.	
		El Regidor Coordinador de la Comisión de Ecología y Medio Ambiente del Ayuntamiento			
	Dirección del Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP)	El Director del Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP)			

3	Universidad Autónoma de México (UNAM)	Representante del Instituto de Astronomía de la UNAM (Oficina de la Ley del Cielo)		
4	Un representante de la Comisión Federal de Electricidad (CFE)			
5	Academia	Representante de los centros de investigación y tecnología		
6	Asociaciones Civiles	Representante de la comunidad astronómica		
		Representante de los organismos colegiados de ingeniería		
		Representante de los organismos colegiados de arquitectura		
7	Medios de comunicación establecidos	Representante de los medios de comunicación		
8	Empresas de iluminación	Optima energía		Responsables del arrendamiento del sistema de alumbrado público del municipio de Ensenada. Recaudador del importe del Impuesto al Alumbrado Público (IAP)
9	Habitantes del Municipio		Habitantes del Municipio Ensenada	Beneficiarios del servicio de alumbrado público e iluminación
10	Organizaciones ambientalistas internacionales		Asociación Internacional de Cielos Oscuros (International Dark-Sky Association - IDA-)	Promotoras de la protección de los cielos oscuros
			Asociación Astronómica Internacional (IAU)	Promotoras de la investigación astronómica. Conforman las comisiones para la protección de los cielos oscuros y sitios de observación astronómica
			UNESCO en su comité de Patrimonio Mundial.	Promotoras de la investigación protección de los cielos oscuros y sitios de observación astronómica como patrimonio cultural de la humanidad
11	Compañías constructoras		Compañías constructoras	Promotoras y ejecutoras de las construcciones habitacionales en el municipio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Identificación de los actores involucrados en la gestión de la contaminación lumínica en el municipio de Ensenada, Baja California

Los actores directos que sobresalen en la gestión de la contaminación lumínica en el municipio Ensenada corresponden a la Secretaría de Protección al Ambiente estatal, algunas dependencias del Ayuntamiento de Ensenada y organismos públicos de corte social como las universidades y centros de investigación, los medios de comunicación y gremios, los cuales fungen como miembros de la comisión técnica como asesores en materia de iluminación eficiente. Destaca el rol del personal del Instituto de Astronomía y de la Oficina de la Ley del Cielo de la UNAM por su constante asesoría en materia de regulación y protección de los cielos oscuros. Durante el proceso de renovación del alumbrado público también fue fundamental el papel de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de UABC como representante de las universidades y centros de investigación. Las dependencias gubernamentales del ayuntamiento de Ensenada son las responsables del otorgamiento de licencias y permisos de construcciones, planificación urbana, zonificación y desarrollo urbano municipal, supervisión de obras y la adquisición de productos para instalación/sustitución del alumbrado público. También son responsables de inspeccionar y sancionar el incumplimiento del reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica del Municipio de Ensenada.

La empresa de iluminación Optima Energía esta compañía obtuvo una concesión por diez años para el alumbrado público del municipio de Ensenada, fue responsable del censo lumínico, es la responsable del mantenimiento del alumbrado público y fue el proveedor de las luminarias del Proyecto de Modernización del alumbrado público para la sustitución de 17,000 luminarias de vapor de sodio a alta presión semi cut off y la instalación de 8,000 nuevas para un total de 25,000 luminarias por luminarias LED cut off (Ávila F., 2019; comunicación personal).

En cuanto a los actores indirectos destacan los pobladores del Municipio de Ensenada, quienes son los más afectados por el sistema de iluminación público y sus deficiencias, pero que no participan en las consultas para los cambios en el mismo. Igualmente, las organizaciones ambientales internacionales como la Asociación Internacional de Cielos Oscuros (International Dark-Sky Association -IDA-), la Asociación Astronómica Internacional (IAU) y la UNESCO en su comité de Patrimonio Mundial. Estas organizaciones han sido promotoras de políticas públicas para la conformación de comisiones técnicas, legislaciones y proyectos de investigación, divulgación y popularización de la astronomía. En el caso de la UNESCO promueve la revalorización de los valores patrimoniales representados por monumentos que desde la antigüedad están asociados a la astronomía.

Se distinguen principalmente tres sectores:

- El Sector Público con dos niveles de representatividad; estatal y local. Los cuales por lo establecido en la ley del estado y la Constitución Nacional son los grupos con mayor poder/ compromiso con la aplicación del reglamento.
- El Sector Social, representado en el ámbito local por organizaciones de la Sociedad Civil como los gremios, uniones de astrónomos y de la Academia y en el ámbito internacional por las organizaciones internacionales
- El Sector Privado, representado por comerciantes y compañías de iluminación, constructoras, turísticas, entre otras.

Una vez identificados los actores se elaboró una matriz de poder y empoderamiento en el que se estimaron sus relaciones y sus redes de comunicación y poder, el grado de participación e involucramiento en la aplicación del reglamento en el ámbito de sus jurisdicciones. Con ello, se identifica cuáles actores están o no involucrados y cuáles están o no a favor de manera directa e indirecta (tabla 16).

<i>Involucramiento (compromiso o apoyo)</i>				
		<i>Gran poder / Gran compromiso/ apoyo</i>		<i>Gran poder / Poco compromiso/ apoyo</i>
		<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>
<i>Poder (influencia)</i>	<i>Alto</i>		✓ Ayuntamiento de Ensenada	✓ Secretaría de Protección al Ambiente (SPA) ✓ Empresa de iluminación Óptima Energía
	<i>Medio</i>	✓ Universidad Autónoma de México (UNAM)	✓ CFE ✓ Medios de comunicación ✓ Universidades	✓ Asociaciones Civiles
	<i>Bajo</i>		✓ Compañías constructoras	✓ Habitantes del Municipio Ensenada ✓ Organizaciones ambientalistas internacionales
		Poco poder / Gran compromiso/apoyo		Poco poder / Poco compromiso/ apoyo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Matriz de relaciones de poder y empoderamiento

En la matriz se identificaron los grupos de mayor involucramiento/compromiso en los que se incluyen el Ayuntamiento de Ensenada porque regula y supervisa la instalación del alumbrado público del municipio. Se ubica en la parte media superior de la tabla 16 para señalar su fuerza política y su inclinación hacia la adquisición e instalación del alumbrado público del municipio. Al contrario, los habitantes del municipio no tienen el poder político y desconocen el proceso de

modernización del alumbrado público y, se muestran descontentos por la sustitución porque con el tiempo han tenido una pérdida del servicio de iluminación porque no funciona en la manera que fue anunciada. Éstos están colocados en la parte inferior derecha de la matriz.

Por otra parte, las personas y grupos afectados por esta política particular y que de alguna manera generan influencia en la política como a través de publicaciones en prensa, publicaciones en revistas científicas, presupuestos y permisos; representan grupos con un nivel medio de poder/influencia, pero con un gran compromiso/apoyo que se manifiesta en sus investigaciones, propuestas y continua publicación en prensa. Ello les confiere cierta influencia de veto.

En términos generales destaca la responsabilidad del sector público en el ámbito de regulación y control, asimismo el rol de la sociedad civil desde la academia, en especial la divulgación, de acompañamiento técnico y asesoramiento en la elaboración del reglamento y conformación de la secretaria técnica. En lo social, es importante no perder de vista que este reglamento regula un servicio importante de las ciudades como lo es el alumbrado público y que éste debe beneficiar a todos los habitantes con calidad, cantidad y dirección de la luz apropiada para las actividades a realizar y por ende debe garantizarse la aplicación, vigilancia y control del reglamento para que cumpla los requerimientos necesarios.

2. Análisis de la Reglamentación para la Prevención de la Contaminación Lumínica

El Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada, Baja California aprobado en el año 2006 y modificado en el 2016 y 2017, es de orden público y de observancia general. Es una norma municipal cuyo objetivo es “prevenir, reducir y evitar la contaminación lumínica que se proyecta hacia la oscuridad natural del cielo y luz intrusa en las zonas urbanas de Ensenada, Baja California que es ocasionada por el alumbrado público, privado y medios de publicidad que pueden afectar las investigaciones del Observatorio Astronómico Nacional establecido en la Sierra de San Pedro Mártir de este municipio y operado por el Instituto de Astronomía de la UNAM, así como promover el ahorro y consumo eficiente en el uso de la energía eléctrica y la utilización de energías alternativas” (Artículo 1 POEBC, 2017).

El reglamento regula la iluminación exterior, incluyendo el alumbrado público ornamental, deportivo y recreativo, estacionamientos, industrias, viviendas, seguridad y anuncios publicitarios. El ámbito territorial comprende el municipio Ensenada y define una Zona de Máxima Protección del OAN-SPM, correspondiente al área incluida en un radio de 100 kilómetros tomando como centro la ubicación del OAN (Artículos 2, 3 y 5 del POEBC, 2017).

El contenido del reglamento es el siguiente:

1. En cuanto a la iluminación exterior debe tener las siguientes características:
 - ✓ Uso de diseño full cut off en el alumbrado público
 - ✓ Instalación del alumbrado público sin inclinación
 - ✓ Uso de temperaturas de color (RE) menor a 3000 K en la zona de máxima protección
 - ✓ Horario de uso y diseño de alto grado de corte en las instalaciones deportivas
 - ✓ Iluminación desde la parte superior y en horarios especiales de los anuncios publicitarios
 - ✓ Autorización temporal para el uso de fuentes laser y faros buscadores.
2. Las exclusiones del reglamento.
3. La creación del Comité Técnico Asesor para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el municipio, el cual debe ser convocado por el Ayuntamiento y conformado por representantes del municipio, del sector social, académico y gremial para una duración de 3 años en sus funciones.
4. Las funciones del Comité Técnico Asesor incluyen:
 - ✓ Elaborar los lineamientos generales referentes al sistema de iluminación, las luminarias a utilizar y la zonificación de uso de las mismas,
 - ✓ Proporcionar asesoría técnica para la adecuada aplicación del reglamento.
 - ✓ Promover en la ciudadanía el uso apropiado de la iluminación y la prevención de la contaminación lumínica.
 - ✓ Emitir opinión técnica en los proyectos sujetos a autorización
 - ✓ Vigilar el cumplimiento del reglamento y denunciar las violaciones al mismo.
 - ✓ Participar, emitir opinión y recomendación sobre los planes de desarrollo urbano del municipio.
 - ✓ Emitir recomendaciones a la Dirección de Administración Urbana, Ecología y Medio Ambiente para la sanción apropiada a las infracciones al reglamento.
 - ✓ Considerar las disposiciones señaladas en la NOM-013-ENER-2004, acerca de eficiencia energética y demás disposiciones que se encuentren en vigor.
5. Las autorizaciones de permisos de construcciones y los requisitos para su aprobación.
6. La inspección y vigilancia de la aplicación del reglamento.
7. Las responsabilidades de la aplicación de las sanciones serán de la Dirección de Administración Urbana, Ecología y Medio Ambiente e incluyen desde una amonestación hasta la revocación del permiso municipal sobre el servicio o establecimiento que se trate. Asimismo, los recursos de reconsideración y sus requisitos.
8. Los artículos transitorios donde se incluyen:
 - ✓ Los lapsos para la convocatoria a la conformación del comité técnico.

- ✓ Los tiempos de adecuación de los sistemas de iluminación exterior, salvo el alumbrado público, serán en un plazo de cinco años.
- ✓ Cualquier luminaria que se instale o reemplace deberá cumplir con las disposiciones del reglamento.

La iniciativa del municipio de Ensenada con esta normativa motivó la modificación, en el año 2010, de la Ley de Protección al Ambiente para el Estado de Baja California para definir e incorporar la contaminación lumínica a los diferentes problemas ambientales que deben regularse.

Esta ley estatal es de orden público e interés social y establece disposiciones con las líneas generales para la prevención y regulación de esta problemática en el estado y las competencias estatales y municipales “en materia de desarrollo sustentable, prevención, preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente del territorio del Estado”. Asimismo, establece las bases para:

- ✓ Prevenir y controlar la contaminación del aire, agua, atmósfera y suelo en las áreas que no sean competencia de la Federación;
- ✓ Los principios mediante los cuales se habrán de conducir y evaluar a las instituciones públicas Estatales y Municipales en materia de cuidado ambiental (Artículo 1 POEBC, 2019).

Este reglamento incluye elementos como la importancia de la protección de los ecosistemas, la reducción del consumo energético y la aplicación de instrumentos económicos a las actividades que tengan por objeto evitar y reducir la contaminación lumínica; para ello regula el alumbrado público y privado para la protección del cielo nocturno.

Define la contaminación lumínica como la “emisión de flujo luminoso en la atmósfera de fuentes artificiales nocturnas, en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se instala la fuente” (Artículo 2, Ordinal VIII; POEBC, 2019). Esta definición es diferente a la presentada en el reglamento de Ensenada y es utilizada internacionalmente, presenta claramente los elementos que deben regularse en las emisiones lumínicas como son la intensidad, dirección, rango espectral y horarios.

Finalmente, establece las facultades de la Secretaría para la Protección del Ambiente (SPA) en la prevención y control de la contaminación lumínica:

- ✓ Promover la creación y ejecución de un programa para la prevención y control de la contaminación lumínica.

- ✓ Promover estudios y campañas de sensibilización en esta temática.
- ✓ Apoyar a los municipios en la elaboración y aplicación de los reglamentos y,
- ✓ Promover los convenios de colaboración nacionales e internacionales para la preservación de la calidad de la atmósfera (Artículo 120; POEBC, 2019).

Asimismo, establece las facultades de los municipios del estado de Baja California en la prevención y control de la contaminación lumínica y que incluyen:

- ✓ Participar en la elaboración del programa de prevención y control de la contaminación lumínica, en apego a lo dispuesto a esta Ley, en la Ley General y las Normas Oficiales Mexicanas;
- ✓ Promover las disposiciones legales en materia ambiental para evitar la contaminación lumínica, en particular en imagen urbana, alumbrado público, edificaciones y cualquiera que pudiera generar contaminación lumínica;
- ✓ Integrar y mantener actualizado el inventario de luminarias y coordinarse con el gobierno estatal para la integración del inventario en el Estado;
- ✓ Promover la capacitación y sensibilización acerca de la importancia de prevenir la contaminación lumínica;
- ✓ Promover los convenios de colaboración nacionales e internacionales interesados en la preservación de la calidad de la atmósfera (Artículo 121; POEBC, 2019).

En este marco y con la iniciativa, participación y acompañamiento del personal del Instituto de Astronomía y la Oficina de la Ley del Cielo (creada en septiembre de 2012), de la UNAM, se logra que a partir del año 2011 otros municipios sometan a discusión y aprobación de las cámaras municipales las propuestas de reglamentos para la prevención y control de la contaminación lumínica y el reglamento de vigilancia del servicio de alumbrado público y prevención de la contaminación lumínica. Estas normas son promovidas por la importancia nacional y regional de la actividad astronómica del OAN-SPM y para proteger la calidad astronómica de los cielos que pudiesen afectar investigaciones resultantes de las observaciones astronómicas; promover el ahorro y consumo eficiente de la energía eléctrica; el ahorro de los recursos de los Ayuntamientos y promover el uso de energías y tecnologías alternativas (POEBC 2011, 2017, 2019b, 2019c). Asimismo, estas iniciativas permiten armonizar las legislaciones en el estado de Baja California en torno a la problemática de la contaminación lumínica.

Estas iniciativas de los gobiernos locales del estado de Baja California para la regulación de las instalaciones de alumbrado exterior en lo referente a contaminación lumínica y eficiencia

energética incorporan elementos del reglamento del municipio de Ensenada y modifica y actualiza otros de acuerdo a sus características particulares.

A continuación, se presenta un análisis comparativo con los aspectos más relevantes regulados en las reglamentaciones de los municipios Ensenada, Mexicali y Tijuana en la tabla 17, y más detallada en la tabla 18.

	Ensenada	Mexicali	Tijuana
Nombre del Documento	Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada, Baja California	Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Mexicali, Baja California	Reglamento de Vigilancia de Servicio de Alumbrado Público y Prevención de la Contaminación Lumínica para el Municipio de Tijuana, Baja California
Fecha de aprobación del decreto	Aprobada y publicada en Periódico Oficial	Aprobada y publicada en Periódico Oficial	Aprobada y publicada en Periódico Oficial
Fecha de entrada en vigor	✓	✓	✓
Ámbito de aplicación	✓	✓	
Zonificación del territorio	✓	X	X
Definición del área de protección lumínica OAN	✓	X	X
Actividad/Recurso a regular	✓	✓	✓
Excepciones de aplicación	✓	✓	✓
Autoridades responsables de su aplicación	✓	✓	✓
Plazo para integrar el Comité Técnico Asesor	✓	✓	✓
Características de las instalaciones y funcionamiento del alumbrado público y ornamental	✓	✓	✓
Referencia a otras normas	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Aspectos presentes en los reglamentos de prevención de la contaminación lumínica de los municipios Ensenada, Mexicali y Tijuana, Baja California.

	Ensenada	Mexicali	Tijuana
Nombre del documento	El Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada, Baja California	Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Mexicali, Baja California	Reglamento de Vigilancia de Servicio de Alumbrado Público y Prevención de la Contaminación Lumínica para el Municipio de Tijuana, Baja California

	Ensenada	Mexicali	Tijuana
Fecha de aprobación	POEBC, 29-08-2006	POEBC, 08-07-2011	POEBC, 11-01-2019
Modificaciones	POEBC, 2016, 2017	Modificado en septiembre 2019, pero aún no publicado.	Sin modificaciones
Fecha de entrada en vigor	Al día siguiente de su publicación en el diario oficial	Al día siguiente de su publicación en el diario oficial	A la espera de la publicación en el Periódico Oficial del Estado de Baja California
Ámbito de aplicación	Municipio de Ensenada, especialmente a las regiones que pudiesen afectar directamente las observaciones astronómicas en la Sierra San Pedro Mártir.	Municipio de Mexicali, especialmente a las regiones que pudiesen afectar directamente las observaciones astronómicas en la Sierra San Pedro Mártir.	Municipio de Tijuana
Definición del problema y otros elementos	Contaminación lumínica: Brillo o resplandor de la luz en el cielo nocturno, producido por la reflexión y la difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire por el uso de luminarias inadecuadas y/o excesos de iluminación (POEBC, 2006) Calidad astronómica de un sitio. El conjunto de condiciones ambientales del cielo que determinan su aptitud para la observación del cosmos. En particular, en un observatorio óptico, como es el instalado en San Pedro Mártir, incluye la oscuridad del cielo, así como la transparencia y estabilidad de la atmósfera (POEBC, 2006)	Contaminación lumínica: Brillo o resplandor de la luz en el cielo nocturno, producido por la reflexión y la difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire por el uso de luminarias inadecuadas y/o excesos de iluminación; Calidad astronómica de un sitio. El conjunto de condiciones ambientales del cielo que determinan su aptitud para la observación del cosmos. En particular, en un observatorio óptico, como es el instalado en San Pedro Mártir, incluye la oscuridad del cielo, así como la transparencia y estabilidad de la atmósfera	Contaminación lumínica: Brillo o resplandor de la luz en el cielo nocturno, producido por la reflexión y la difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire por el uso de luminarias inadecuadas y/o excesos de iluminación; Calidad astronómica de un sitio. El conjunto de condiciones ambientales del cielo que determinan su aptitud para la observación del cosmos. Grave problema con el alumbrado público, producto de la carencia de estudios técnicos y profesionales en relación al tipo y ubicación de luminarias
Zonificación del territorio	Dos zonas: el área de máxima protección lumínica del OAN-SPM y el resto del territorio municipal	El territorio municipal y enuncia la existencia de un área de máxima protección lumínica del OAN-SPM	El territorio municipal
Definición de un área de máxima protección lumínica	La zona de máxima protección es la zona dentro del área incluida en un radio de 100 kilómetros tomando como centro la ubicación del Observatorio Astronómico Nacional.	No la define, sin embargo, posee comunidades del municipio que pudiesen afectar directamente las observaciones astronómicas en la Sierra San Pedro Mártir por su cercanía al mismo	No es nombrada
Actividad/Recurso a regular	El alumbrado exterior, el establecimiento de industrias y actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, así como otros factores que se consideren degradantes de la calidad astronómica...	El alumbrado exterior, el establecimiento de industrias y actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, así como otros factores que se consideren degradantes de la calidad astronómica...	Supervisar y mejorar el sistema de alumbrado público
Excepciones de aplicación	✓ La luz producida por la combustión de gas natural u otros combustibles; excepto	✓ La luz producida por la combustión de gas natural u otros combustibles; excepto	No es nombrada

	Ensenada	Mexicali	Tijuana
	<p>en la zona de máxima protección lumínica del observatorio astronómico en San Pedro Mártir;</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La iluminación que sea necesaria para garantizar la navegación aérea y marítima; ✓ La iluminación en vehículos móviles; ✓ Toda iluminación de emergencia necesaria por los Departamentos de Policía, Bomberos u otro servicio de emergencia; ✓ Las luminarias de precaución requeridas por las disposiciones legales aplicables. 	<p>en la zona de máxima protección lumínica del observatorio astronómico en San Pedro Mártir;</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La iluminación que sea necesaria para garantizar la navegación aérea y marítima; ✓ La iluminación en vehículos móviles; ✓ Toda iluminación de emergencia necesaria por las disposiciones legales aplicables. 	
Autoridades responsables de su aplicación	El Ayuntamiento, el Director de Catastro y Control Urbano, la Dirección de Ecología y los Inspectores habilitados	El Ayuntamiento, el Presidente Municipal, la Dirección de Administración Urbana, la Dirección de Ecología y los Inspectores habilitados	
Integrantes del Comité Técnico Asesor	El Director de Administración Urbana, Ecología y Medio Ambiente, el Regidor Coordinador de la Comisión de Desarrollo Urbano, el Regidor Coordinador de la Comisión de Ecología y Medio Ambiente, el Director del Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP), el representante del Instituto de Astronomía de la UNAM, un representante de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) un representante de los centros de investigación y tecnología, un representante de la comunidad astronómica, un representante de los organismos colegiados de ingeniería y arquitectura y un representante de la comunidad astronómica	El Director de Ecología, el Director de Administración Urbana, el Regidor Coordinador de la Comisión de Desarrollo Urbano y Control Ecológico, el director del Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali, el Director de Servicios Públicos Municipales, un representante de la UABC, un representante del Instituto de Astronomía de la UNAM, un representante de los organismos colegiados de ingeniería y arquitectura.	El Presidente Municipal, quien podrá ser representado por el secretario de desarrollo urbano y ecología, los regidores de las comisiones de Desarrollo Urbano, Obras y Servicios Públicos; Medio Ambiente, desarrollo sustentable y salud, Planeación del desarrollo municipal; el representante del Instituto de Astronomía de la UNAM, un representante de la comunidad astronómica, un representante de los centros de investigación y tecnología, un representante de los organismos colegiados de ingeniería y arquitectura, un representante de la Sindicatura Procuradora, un organismo de la comunidad de protección al ambiente.
Plazo para integrar el Comité Técnico Asesor	El primer comité técnico se convocará 15 días después de la publicación del reglamento a la conformación del comité técnico. Posteriormente 45 días hábiles antes de que finalice sus	El primer comité técnico se convocará 15 días después de la publicación del reglamento a la conformación del comité técnico. Posteriormente 45 días hábiles antes de que finalice sus	El primer comité técnico se convocará 30 días después de la publicación del reglamento. Posteriormente 45 días hábiles antes de que finalice sus funciones se convocara al a selección de sus miembros.

	Ensenada	Mexicali	Tijuana
	funciones se convocara al a selección de sus miembros.	funciones se convocara al a selección de sus miembros.	
Características de las instalaciones y funcionamiento del alumbrado público y ornamental	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de diseño full cut off en el alumbrado público ✓ Instalación sin inclinación en el alumbrado público y no emitir luz por encima de noventa grados ✓ Uso de temperaturas de color (RE) menor a 3000 K en la zona de máxima protección ✓ Horario de uso y diseño de alto grado de corte en las instalaciones deportivas ✓ Iluminación desde la parte superior y en horarios especiales de los anuncios publicitarios ✓ Autorización temporal para el uso de fuentes laser y faros buscadores. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Las luminarias para el alumbrado público deberán estar construidas de modo que toda la luz emitida sea proyectada por debajo del horizonte, ✓ En el alumbrado público las lámparas permitidas serán las que establezca el Comité Técnico Asesor. ✓ El alumbrado ornamental de edificios públicos, monumentos y jardines procurará que la luz vaya siempre dirigida de arriba hacia abajo. Podrá utilizarse cualquier tipo de lámparas siempre que permanezca apagado después de las doce de la noche. ✓ Horario de uso y diseño de alto grado de corte en las instalaciones deportivas ✓ Iluminación desde la parte superior y en horarios especiales de los anuncios publicitarios ✓ Autorización temporal para el uso de fuentes laser y faros buscadores. 	No se menciona, ya que lo deja al Consejo Técnico Asesor para que realice un dictamen técnico con esta información.
Referencia a otras normas	NOM-013-ENER-2004 y demás disposiciones normativas	NOM-013-ENER-2004 y demás disposiciones normativas	Normas oficiales vigentes y demás disposiciones normativas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Comparación del contenido en los reglamentos de prevención de la contaminación lumínica de los municipios Ensenada, Mexicali y Tijuana, Baja California.

Es importante destacar que el reglamento de Ensenada es una referencia para la elaboración de los otros y ello ha incidido en que tengan similitudes de forma y contenido. Tal es el caso del Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Mexicali (2011) que es similar a la primera versión del municipio Ensenada del año 2006 y la de Tijuana (2019) presenta una propuesta de reglamento revisada y mejorada de las anteriores. Asimismo, esta retroalimentación y las tendencias internacionales en el estudio de las diferentes fuentes de

iluminación ameritaron la revisión del reglamento del municipio Ensenada en el año 2016 para incorporar en la reglamentación municipal los límites lumínicos o luxes máximos para anuncios y rótulos iluminados y pantallas electrónicas.

A continuación, se presentan los comentarios de la revisión de la reglamentación de prevención de la contaminación lumínica de los tres municipios, la misma se ha dividido en varios aspectos importantes: título, ámbito y excepciones de aplicación, zonificación del territorio, parámetros luminotécnicos y la adaptación de las instalaciones existentes:

- Título y objeto: los tres reglamentos están orientados a la prevención y control de la contaminación lumínica como un medio para proteger el OAN-SPM, incentivar el ahorro energético, uso de energías y tecnologías alternativas e incentivar el ahorro de los recursos de los Ayuntamientos.
- Definición de contaminación lumínica: se utiliza una definición común en todos los reglamentos y fue la primera presentada en el Reglamento de Ensenada (POEBC, 2006) en la cual se hace referencia a excesos de iluminación por el uso de luminarias inadecuadas y a la contaminación atmosférica. Esta definición es diferente a la incorporada en la Ley de Protección al Ambiente para el estado de Baja California (POEBC, 2019) la cual es usada internacionalmente en otras legislaciones similares y que de manera explícita plantea los aspectos a regular en el flujo lumínico, como son: dirección, intensidad y temperatura de color o rango de emisión en el espectro electromagnético.
- Ámbito y excepciones de aplicación: los reglamentos son de orden público y observancia general y aplica para el alumbrado público y privado que pudiese generar contaminación lumínica en los municipios.
- Zonificación del territorio: en los municipios de Mexicali y Tijuana no incluyen ningún tipo de zonificación en función de la vulnerabilidad de los cielos para la observación astronómica, no se definen ni se incluyen áreas de mayor y menor restricción lumínica. Sin embargo, el municipio de Ensenada sí incluye una zona de máxima protección en un radio de 100 kilómetros tomando como centro la ubicación del Observatorio Astronómico Nacional.
- Zonificación y alumbrado: en el municipio Ensenada solo se restringe el uso de temperaturas de color (RE) menor a 3000 K en el sistema de iluminación de la zona de máxima protección.
- Parámetros luminotécnicos: referido a los niveles de iluminancia media para la zona peatonal y tránsito vehicular; así como los horarios de funcionamiento. No están establecidos en el reglamento, están referidos en la Norma NOM- 013-ENER-2004 en los tres reglamentos.

3. Características del alumbrado público del municipio Ensenada

Considerando los planteamientos de la IAU y de Shaflik (1997) acerca de que el alumbrado público es una de las principales fuentes de contaminación lumínica, a continuación revisaremos las características del municipio de Ensenada, Baja California.

Las características del alumbrado de exterior y público son diferenciadas en el Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada; el primero, es aquel ubicado en el exterior con la finalidad de resaltar las formas, texturas, estructuras o monumentos durante la noche; el segundo es el sistema de iluminación proporcionado y mantenido por el municipio con la finalidad de proporcionar condiciones mínimas de iluminación para el tránsito de peatones y vehículos en vialidades y espacios públicos (Artículo 3, fracción I y II, POEBC, 2006).

Al respecto, existen un conjunto de normas internacionales desde la Comisión Eléctrica Internacional (CIE) que establecen las condiciones de iluminación que son necesarias para los diferentes tipos de vialidades, las cuales son acogidas en México y algunas planteadas en las Normas Oficiales Mexicanas, una de ellas es la NOM-013-ENER-2012 establecida en el año 1997 y modificada durante los años 2004 y 2012.

En el caso del alumbrado público vial éste está regulado por esta Norma Oficial Mexicana, la cual tiene por objeto establecer niveles de eficiencia energética, la luminancia e iluminancia promedio recomendados para alumbrado en vialidades, de manera que se diseñen o construyan bajo un criterio de uso eficiente de la energía eléctrica, el uso de diseños óptimos y de equipos y tecnologías que incrementen la eficacia sin menoscabo de los requerimientos visuales (DOF, 2013).

Asimismo, el ámbito de aplicación comprende “todos los sistemas nuevos de iluminación para vialidades y estacionamientos públicos abiertos, cerrados o techados, así como las ampliaciones o modificaciones de instalaciones ya existentes que se construyan en el territorio nacional, independientemente de su tamaño y carga conectada”. Ello incluye las a) vialidades y b) estacionamientos públicos abiertos, cerrados o techados. La modificación de instalaciones incluye el cambio de luminarias, distancia interpostal, etc. o cualquier cambio en el sistema de iluminación (DOF, 2013).

La normativa incluye los tipos de vialidades, la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) y niveles de luminancia e iluminancia recomendados y de obligatorio cumplimiento en cualquier proyecto de iluminación en el país y por ende en el municipio.

En el caso de los anuncios publicitarios iluminados, en el año 2015 el Comité Técnico Asesor para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada propuso unos lineamientos temporales para la instalación u operación de pantallas electrónicas luminosas, anuncios espectaculares y dispositivos publicitarios con emisión de luz para fines publicitarios.

En este mismo año, el municipio de Ensenada emprendió el proyecto de modernización del alumbrado público e incorporación del uso de tecnologías LED en el alumbrado público, para ello convocó a un proceso de licitación internacional para la firma de un contrato de arrendamiento por diez años. Entre los requisitos para los participantes se incluyó que las luminarias ofertadas debían cumplir con lo establecido en la norma NOM-013-ENER-2012 sobre eficiencia energética.

De este proceso resulta ganador la empresa CELSOL S.A. de C.V. (Óptima Energía) radicada en Monterrey, la cual elaboró un censo lumínico enfocado en las áreas donde se planteó la instalación de las 25,000 luminarias y cuyos resultados se muestra en la tabla 19 y figura 22.

<i>Tipo de luminaria</i>	<i>Total</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
<i>Vapor de Sodio a Alta Presión (VSAP)</i>	26,721	99.86
<i>Vapor de Mercurio</i>	18	0.067
<i>LED</i>	20	0.074
<i>Total</i>	26,759	100

Fuente: Elaboración propia con datos del Censo lumínico 2016 elaborado por Óptima Energía para el proyecto Modernización del Alumbrado Público del Municipio Ensenada con tecnología LED

Tabla 19. Luminarias públicas en el municipio de Ensenada previo a la modernización

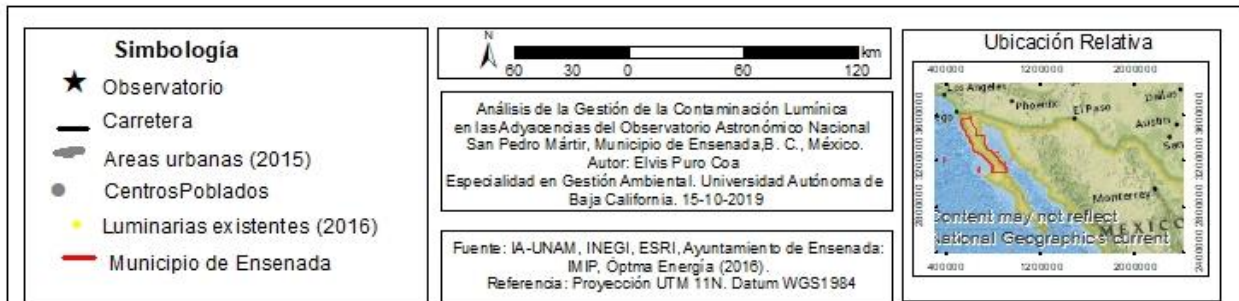
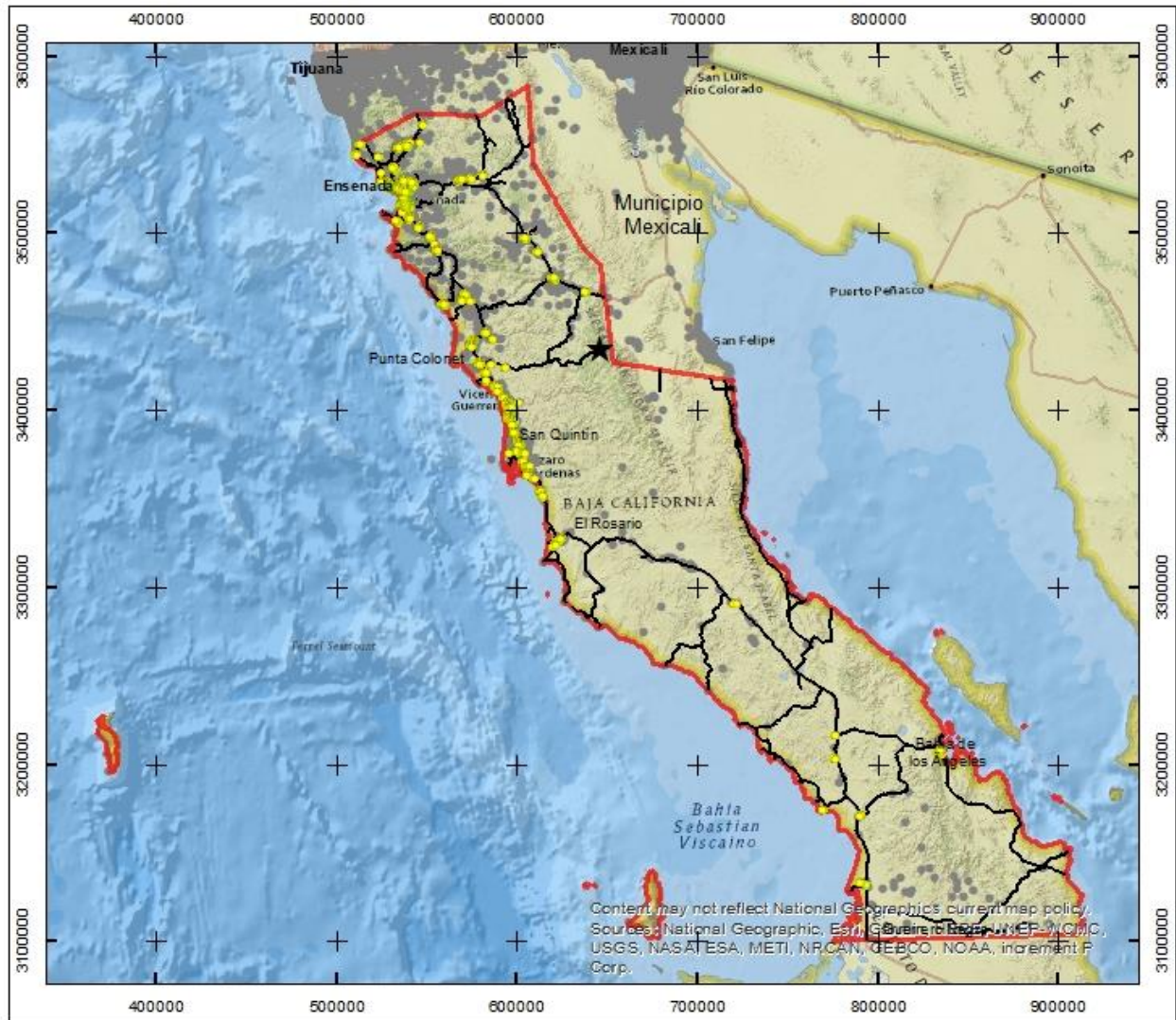
Es de importancia resaltar que de estas 26,759 luminarias censadas se justificó la compra, sustitución/instalación de 25,000 luminarias LED en el municipio. Sin embargo, no está clara la información acerca de si existen áreas que no fueron incluidas o censadas y ello dificulta conocer las verdaderas necesidades del municipio. Las luminarias cumplen con las características resumidas en la tabla 20.

Luminarias Censadas	Luminarias a instalar/sustituir
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño "semi cut off" • Temperaturas de color en el rango de los amarillos • Tecnología Vapor de sodio a alta presión • Diferentes potencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño "full cut off" • Temperaturas de color en el rango de los blancos (5,500 K) • Tecnología LED • Diferentes potencias (tabla 20)

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Comparación de luminarias censadas y sustituidas

Distribución espacial del alumbrado público con emisión lumínica al cielo en el Municipio de Ensenada, Baja California, México



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo lumínico 2016 elaborado por Óptima Energía para el proyecto Modernización del Alumbrado Público del Municipio Ensenada con tecnología LED.

Figura 21. Distribución espacial del alumbrado público en el municipio de Ensenada.

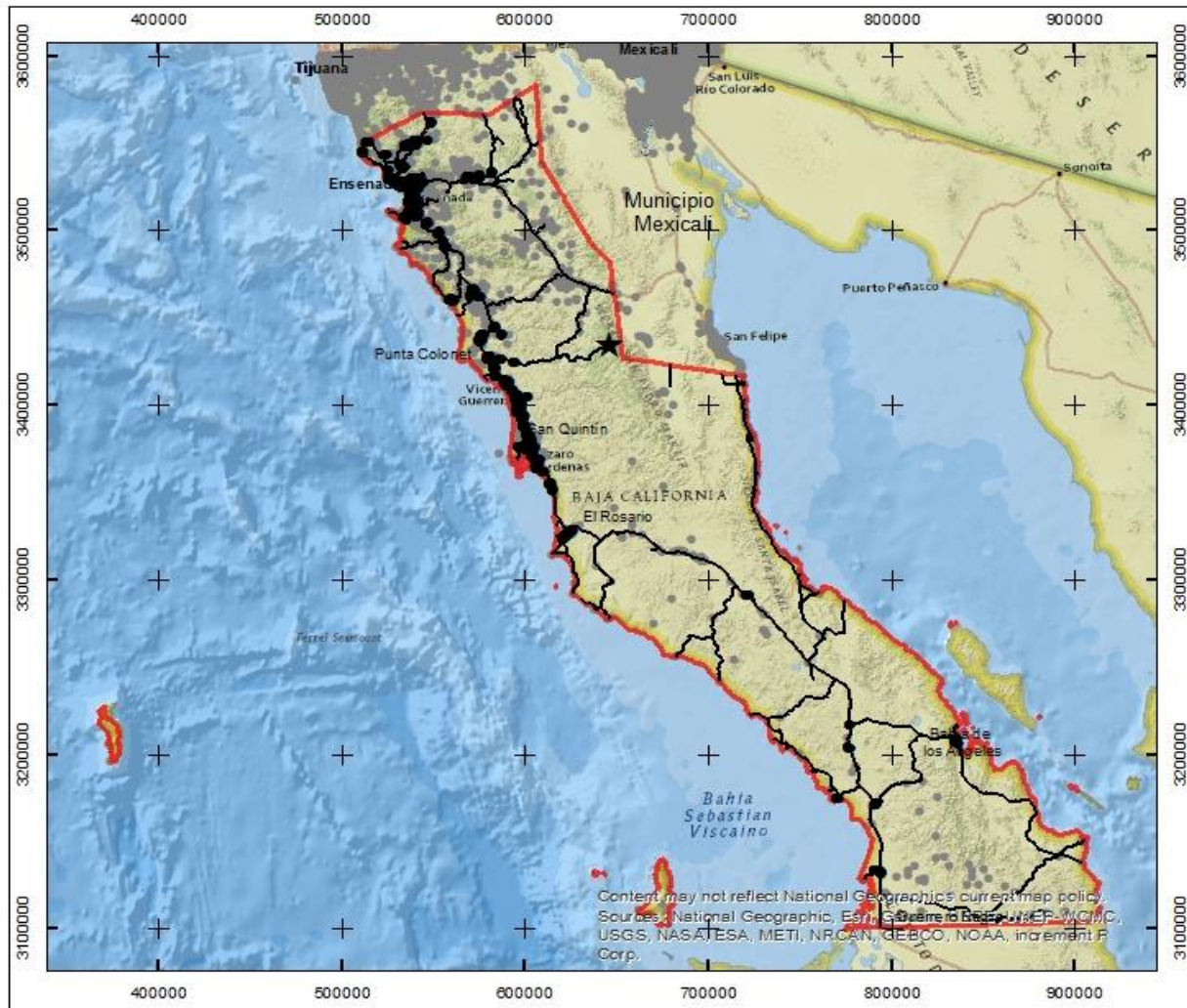
Potencia (Watts)	N° de luminarias por tipo	Porcentaje de luminarias por tipo
53	4,525	18.10
72.8	13,650	54.60
91	249	1.00
101	4,355	17.42
120	138	0.55
134	235	0.94
149	1,219	4.88
203	45	0.18
248	246	0.98
66	250	1.00
200	88	0.35
Total	25,000	100 %

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la tabla de sustituciones de Óptima Energía para el Ayuntamiento del Municipio Ensenada, en el marco del proyecto Modernización del Alumbrado Público con tecnología LED

Tabla 21. Potencia de las luminarias con tecnología LED en el municipio de Ensenada. 2016

Una vez realizada la sustitución de las luminarias en el área de estudio, en el censo sólo se incluyen las 25,000 LED, sin aportar información acerca del resto del sistema de alumbrado que no fue sustituido/instalado. Sin embargo, en conversación informal con personal del departamento de Alumbrado Público del Municipio, informaba que en la ciudad de Ensenada pueden observar tres tipos de fuentes de iluminación: Vapor de Sodio de Alta Presión (VSAP), siendo la mayoría semi cut off, con poco más de 1,000 siendo full cut off. Vapor de Mercurio y LED, si bien son pocas unidades no se reflejan en el censo final. Ello fue verificado contrastando el censo lumínico previo (figura 22) y posterior (figura 23) a las sustituciones donde se incluyeron las nuevas luminarias instaladas. En líneas generales la distribución espacial en el municipio de las luminarias y los centros poblados se observa en la figura 24.

Distribución espacial del alumbrado público con tecnología LED en el Municipio de Ensenada, Baja California, México



Simbología	
★	Observatorio
—	Carretera
■	Áreas urbanas (2015)
●	Centros Poblados
●	Luminarias LED
●	Luminarias existentes (2016)
—	Municipio de Ensenada

Análisis de la Gestión de la Contaminación Lumínica en las Adyacencias del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir, Municipio de Ensenada, B. C., México.
 Autor: Elvis Puro Coa
 Especialidad en Gestión Ambiental, Universidad Autónoma de Baja California. 15-10-2019

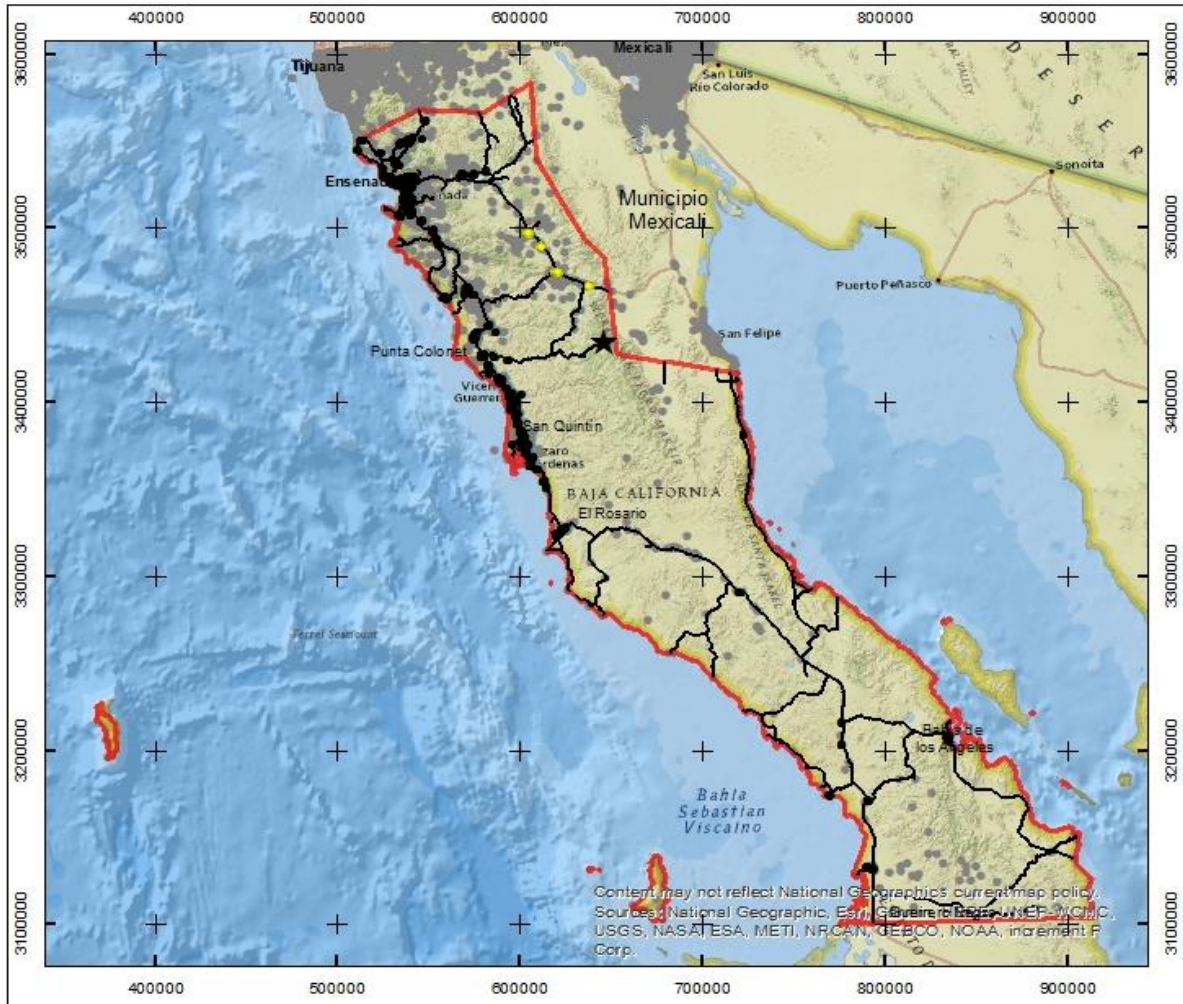
Fuente: IA-UNAM, INEGI, ESRI, Ayuntamiento de Ensenada; MIP, Optima Energía (2016).
 Referencia: Proyección UTM 11N. Datum WGS1984




Fuente: Elaboración propia con datos del Censo lumínico 2016 elaborado por Óptima Energía para el proyecto Modernización del Alumbrado Público del Municipio Ensenada con tecnología LED

Figura 22. Luminarias sustituidas en el marco del proyecto de modernización del alumbrado público del municipio Ensenada

Distribución espacial del alumbrado público en el Municipio de Ensenada, Baja California, México



<p>Simbología</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ Observatorio — Carretera ■ Areas urbanas (2015) ● Centros poblados ● Luminarias LED ● Luminarias existentes (2016) — Municipio de Ensenada 	<p style="text-align: center;">N 0 30 60 120 km</p> <p style="text-align: center;">Análisis de la Gestión de la Contaminación Lumínica en las Adyacencias del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir, Municipio de Ensenada, B. C., México. Autor: Elvis Puro Coa Especialidad en Gestión Ambiental, Universidad Autónoma de Baja California. 15-10-2019</p> <p style="text-align: center;">Fuente: IA-UNAM, INEGI, ESRI, Ayuntamiento de Ensenada: IMIP, Optma Energía (2016). Referencia: Proyección UTM 11N. Datum WGS1984</p>	<p style="text-align: center;">Ubicación Relativa</p>  <p style="text-align: center;">Content may not reflect National Geographic's current map policy. Sources: National Geographic, Esri, Garmin, GEBCO, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA, increment P Corp.</p>
---	---	---

Fuente: Elaboración propia con datos del Censo lumínico 2016 elaborado por Óptima Energía

Figura 23. Luminarias LED sustituidas y no sustituidas proyecto Modernización del Alumbrado Público del Municipio de Ensenada con tecnología LED

En el mapa anterior se observan muchas localidades donde no se realizó la sustitución de luminarias públicas, lo cual es debido a que se corresponde con asentamientos rurales dispersos

y la sustitución hizo énfasis en zonas urbanas. El mayor número de sustitución/instalación de alumbrado público se realizó en el área de la ciudad de Ensenada, en un 65.67% y un 0.20% correspondiente a la Zona de Máxima Protección del OAN-SPM. Ello se debe a que Ensenada es el centro de mayor concentración de población urbana del municipio y presentaba un mayor número de luminarias contaminantes al momento del censo lumínico (figuras 25 y 26).

4. Evaluación de la política de sustitución de luminarias en el municipio Ensenada en el marco del Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica (2006)

Es de importancia la evaluación de esta política porque el reglamento es el primero que se aprueba en México, por lo tanto, el estado de Baja California y el municipio de Ensenada son pioneros en la regulación de esta materia. Asimismo, la sustitución del alumbrado público es la primera acción en su tipo que se implementa posterior a la aprobación del reglamento.

Para la evaluación de la funcionalidad del reglamento de prevención de la contaminación lumínica en el municipio Ensenada se consideró la presencia de la Zona de Máxima Protección lumínica de 100 km en las adyacencias del OAN, la definición de contaminación lumínica y las características que están presentes en el alumbrado público (figura 26).

Para la evaluación de la política de modernización del alumbrado público del municipio Ensenada se consideraron indicadores como fuente de luz, tipo de luz, tipo de cabezal, orientación del cabezal (tabla 22 y 23).

Elemento a evaluar en el flujo luminoso	Indicador	Tipo de Indicador	Unidad de medida
Dirección	Diseño full cut off	Cualitativo	Uso del diseño full cut off
	Instalación sin inclinación	Cualitativo	Instalación sin inclinación
Rango espectral	Temperatura de color	Cuantitativo	Temperatura de color menor a 3,000 K en la Zona de Máxima Protección
Intensidad	Potencia de las luminarias	Cuantitativo	Lumen (W)

Fuente: Elaboración propia

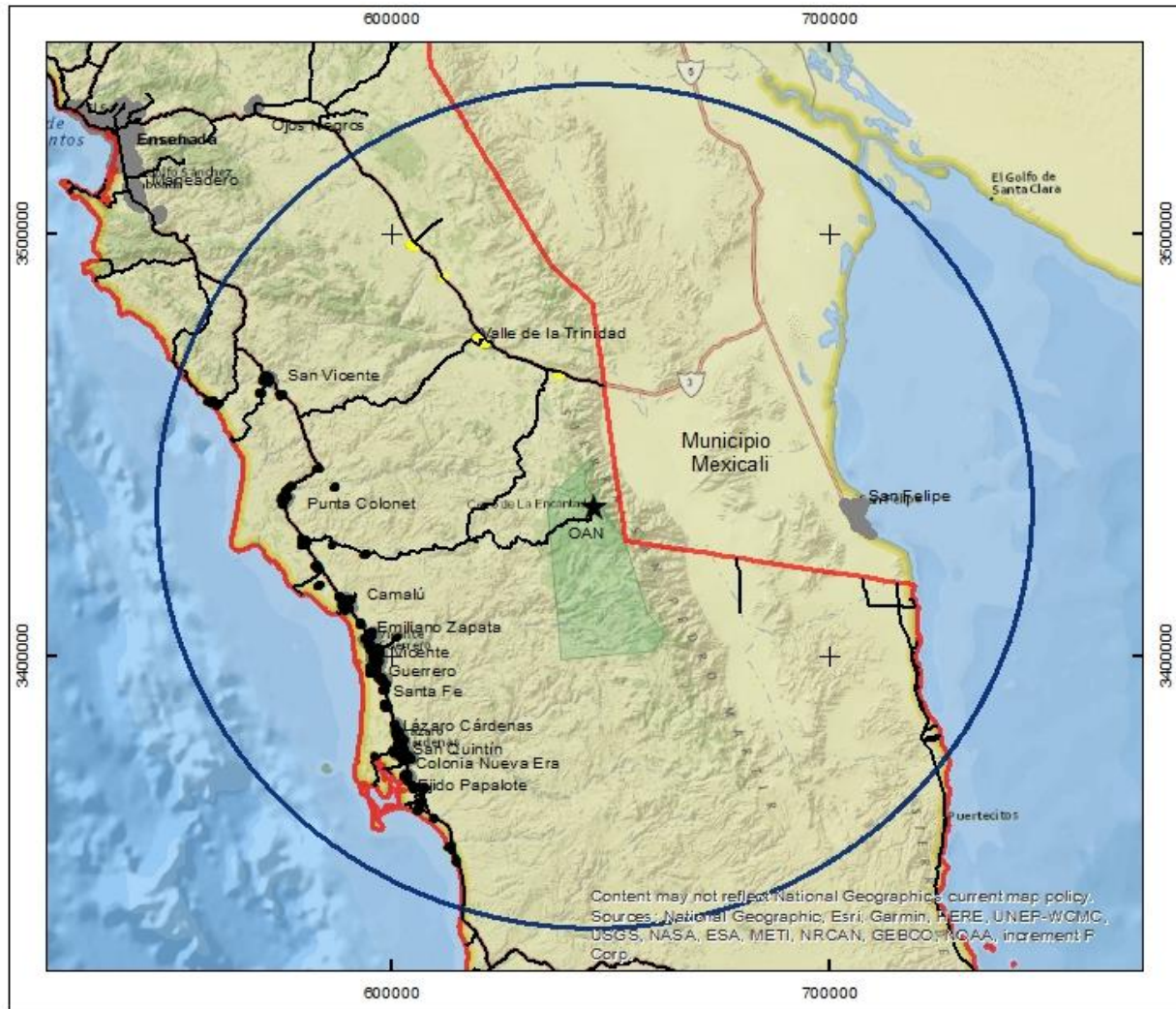
Tabla 22. Indicadores considerados en la evaluación.

Elemento a evaluar en el flujo luminoso	Indicador	Cumplimiento del reglamento	Observaciones
Dirección	Diseño full cut off	Si	
	Instalación sin inclinación	Si	
Rango espectral	Temperatura de color	No	La temperatura de color está por encima del valor recomendado para la Zona de Máxima Protección
Intensidad	Este elemento no se evaluó porque requería mayor detalle y datos		

Fuente: elaboración propia a partir de las fichas técnicas del proyecto de modernización

Tabla 23. Evaluación del cumplimiento del reglamento en la política de Modernización del Alumbrado Público.

Alumbrado público en la Zona de Máxima Protección del Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir. Municipio de Ensenada, B. C.



<p>Simbología</p> <ul style="list-style-type: none"> ★ Observatorio — Carretera ■ Areas urbanas (2015) ■ Municipio de Ensenada • Luminarias LED • Luminarias V SAP ○ Zona de Máxima Protección OAN 	<p style="text-align: center;">N</p> <p style="text-align: center;">25 12.5 0 25 50 km</p> <p style="text-align: center;">Análisis de la Gestión de la Contaminación Lumínica en las Adyacencias del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir, Municipio de Ensenada, B. C., México. Autor: Elvis Puro Coa Especialidad en Gestión Ambiental, Universidad Autónoma de Baja California. 15-10-2019</p> <p style="text-align: center;">Fuente: IA-UNAM, INEGI, ESRI, Ayuntamiento de Ensenada; IMIP, Óptima Energía (2016). Referencia: Proyección UTM 11N. Datum WGS1984</p>	<p style="text-align: center;">Ubicación Relativa</p> <p style="text-align: center;">Content may not reflect National Geographic's current map policy.</p>
--	---	---

Fuente: Elaboración propia con datos del Censo lumínico 2016 elaborado por Óptima Energía para el proyecto Modernización del Alumbrado Público del Municipio Ensenada con tecnología LED

Figura 24. Alumbrado Público actual en la Zona de Máxima Protección del OAN – SPM.

Destacan dos aspectos en la Zona de Máxima Protección del OAN-SPM; el primero es que no fueron incluidos todos los asentamientos en el plan de sustitución y, en donde se sustituyó se incumple con lo establecido en el reglamento en lo referente al valor de temperatura de color de la luminaria. Para esta zona debe ser menor de 3,000 K y las instaladas son de 5,500 K. Si bien el artículo transitorio del reglamento permite las luminarias del alumbrado público que no cumplen con el reglamento; también especifica que “aquellas que no cumplan con las especificaciones del mismo se le harán las adaptaciones necesarias para minimizar la contaminación lumínica”. Y más adelante incluye que cualquier luminaria que se reemplace o instale por primera vez deberá cumplir con los estándares establecidos.

Otro aspecto importante es que con el proyecto de modernizar el alumbrado público se tenía como meta optimizar el sistema de alumbrado público, incentivar el ahorro energético y reducir los costos para el municipio. Al respecto, autores como Sánchez (2015) consideran que a mayor iluminación vial mayor emisión de luz y por ende mayor consumo energético. Sin embargo, es posible que el consumo haya disminuido en Ensenada, ya que, a pesar de que se aumentó el número de luminarias en aproximadamente (8000 unidades) 50% más en esta etapa de modernización, la sustitución de una luminaria de consumo energético alto por una de menor consumo contribuye al ahorro energético. En cuanto a los costos de implantación y mantenimiento de las instalaciones del alumbrado exterior por el uso de la tecnología LED, si bien se considera que ambos tienden a reducirse con los años, tampoco se poseen datos para poder hacer estas comparaciones. Referido a la optimización del servicio esto ha sido fuente de polémica a nivel público, notorio y comunicacional ya que en estos dos años desde la prensa se ha expresado preocupación por el funcionamiento del sistema de iluminación pública, el cual ha presentado fallas y en algunos sectores no funciona a cabalidad.

En cuanto a la política de normar o regular la contaminación lumínica para lograr su control y reducir sus impactos, ello amerita implementar acciones concretas para modificar los patrones de iluminación que no se ajustan a las regulaciones establecidas. Desde el municipio de Ensenada se hicieron esfuerzos para su cumplimiento con una acción concreta de cambiar y modernizar el sistema de alumbrado público con características que permitieran reducir la emisión al cielo y el uso de temperatura de color y potencias apropiadas.

Sin embargo, en la práctica esta acción concreta de sustitución del alumbrado público no fue del todo efectiva, ya que el sistema instalado no cumple con todas las normas estipuladas en el reglamento, por lo cual existen fuertes cuestionamientos técnicos de carácter público, notorio y comunicacional acerca de que su funcionamiento no es lo que se promovió. Ello, está

estrechamente relacionado con las condiciones aprobadas por el Ayuntamiento de Ensenada al no cumplir con las normas establecidas en su seno y además generar un impacto en una iniciativa única a nivel nacional.

Conclusiones

- ✓ La contaminación lumínica se define como el abrillantamiento del cielo nocturno, y es originado por los flujos luminosos de fuentes artificiales nocturnas.
- ✓ Los elementos a considerar en la definición de contaminación lumínica son: se origina de los flujos luminosos de las fuentes de iluminación artificiales ocasionados por el mal direccionamiento de las fuentes de iluminación o el uso de diseños que emiten en todas direcciones; el uso de fuentes de iluminación muy intensas que generan excesos de iluminación; y el tipo de rango espectral de las fuentes luminosas.
- ✓ El control de la contaminación lumínica no involucra dejar a oscuras las ciudades, sino promueve una iluminación exterior eficiente y apropiada a las actividades a realizar y que preserve las condiciones naturales del cielo nocturno para las observaciones astronómicas, la calidad paisajística y ecológica. No se trata de más iluminación, sino mejor iluminación.
- ✓ El Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada, representa la formulación de una política pública para el municipio y es inédito en México, el cual debe combinarse con acciones para mejorar la iluminación exterior en las adyacencias del Observatorio óptico más importante del país y de gran impacto en el hemisferio norte.
- ✓ La definición de una Zona de Máxima Protección del OAN-SPM es una concepción que debe ser revisada para incluir núcleos importantes de población que pueden generar un gran impacto lumínico en las observaciones astronómicas y que pueden ser reguladas de manera preventiva en una zona mayor a los 100 km establecidos.
- ✓ La visión del municipio en la aplicación del reglamento y la política de modernización y sustitución de luminarias solo por su diseño es una acción importante, pero no suficiente para la prevención y reducción de la contaminación lumínica en el municipio. El uso de luminarias con emisiones de luz blanca también constituye un problema que no es perceptible y ha sido reseñado por autores en estudios sobre las afectaciones a la fauna, insectos y salud humana.
- ✓ La política de sustitución de las luminarias públicas en el municipio de Ensenada amerita ser revisada desde el censo lumínico hasta las contrataciones, ya que no existe una

caracterización plena de la problemática y es evidente la falta de información en los censos levantados y el funcionamiento óptimo de las luminarias.

- ✓ La política de planeación y organización de los espacios públicos está relacionada con las políticas gubernamentales y amerita crear los medios, coordinar los recursos y actividades para que las autoridades del municipio cumplan con la autoridad reguladora que les compete.
- ✓ Es necesaria la aplicación plena y el cumplimiento del reglamento desde las jurisdicciones de cada institución y la participación ciudadana para alcanzar una toma de decisiones pertinente y oportuna ante las propuestas o alternativas de crecimiento urbano que ya tenemos en el municipio. Asimismo, implica ética y profesionalismo en la aplicación de los conceptos de esta reglamentación para la selección y compra de los recursos necesario para la aplicación de esta política pública, de la mano de una eficiente fiscalización y control en el campo, de la mano del reporte ciudadano, la transparencia y el asesoramiento técnico.
- ✓ Por otro lado, estudios de evaluación de la calidad de los cielos en las adyacencias del OAN-SPM son necesarios a futuro para poder establecer una línea base para monitorear los avances e impacto, en el aspecto de disminución de contaminación lumínica (y no solamente de ahorro energético, económico), de esta política pública innovadora.

Recomendaciones

- ✓ El Ayuntamiento de Ensenada debe convocar a la instalación del Comité Técnico Asesor para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el municipio.
- ✓ Ampliar la zona de máxima protección lumínica del OAN-SPM de 100km a 150 km para incluir a la ciudad de Ensenada, ya que, al ser el centro poblado de mayor tamaño en el municipio y sus perspectivas de crecimiento, amerita mayores requerimientos de iluminación que afectarían potencialmente al OAN.
- ✓ Incorporar a esta zonificación las categorías de la CIE para definir otras zonas complementarias con requerimientos especiales de iluminación, por su ubicación en las adyacencias del OAN y características propias de iluminación y difusión de la luz, así como las actividades económicas.
- ✓ Aplicar las inspecciones y sanciones establecidas en el Reglamento ante el crecimiento de la ciudad y la instalación de fuentes de iluminación contaminantes del cielo.
- ✓ Realizar estudios de evaluación de la calidad de los cielos oscuros y monitoreo de los incrementos de la contaminación lumínica en las adyacencias del OAN-SPM, ello incluye espacios naturales y centros poblacionales, así como mapas de brillo del cielo para estas

áreas y la evaluación de la gestión del marco legal existente.

- ✓ Facilitar el acceso a la información del municipio acerca de los costos actuales de mantenimiento y real funcionamiento del sistema de iluminación pública.
- ✓ Iniciar un censo lumínico de alumbrado público por parte del Ayuntamiento del municipio de Ensenada que permita revisar las condiciones actuales del sistema y los cambios en las fuentes de contaminación lumínica.
- ✓ Involucrar la Secretaría de Protección del Ambiente en las actividades de divulgación y promoción acerca de esta problemática y la creación y funcionamiento de los programas de prevención y control de la contaminación lumínica, tal como lo establece la Ley de Protección del Ambiente del estado de Baja California.

Referencias

Aguilar, N. (2018). *Propuesta de alternativas para tomadores de decisiones respecto a las actividades de paseo a caballo en playa y calandria, dentro del centro poblacional de Ensenada, Baja California* (Tesis de Especialidad en Gestión Ambiental). Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, México. Recuperado de <http://catalogocimarron.uabc.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=232476>

Antaramián, E. (2001). Contaminación de Luz en Michoacán (Campaña para Cielos Oscuros). *Investigaciones Geográficas*, (agosto) 45, 77-85.

Ávila, F. (2016). La Ley del Cielo. En UNESCO Oficina en México. *The Right to Dark Skys/ El Derecho a los cielos oscuros* (pp. 123-134). Ciudad de México, México: UNESCO. Recuperado de http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Mexico/video/Agenda_Cielos_Oscuros.pdf

Boletín Oficial del Estado (BOE) (1988). Ley 31/1988, de 31-10, Sobre Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias. Publicada en el Boletín Oficial del Estado el 31 de octubre de 1988. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/rd/1992/03/13/243>

BOE (1992). Real Decreto 243/1992, de 13 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento Sobre Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias. Publicada en el Boletín Oficial del Estado el 13 de marzo de 1992. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es/rd/1992/03/13/243>

- BOE (2001). Ordenación Ambiental del Alumbrado para la Protección del Medio Nocturno, Ley 6/2001 Comunidad Autónoma de Cataluña. Publicada en el Boletín Oficial del Estado el 22 de junio de 2001. Recuperado de <https://www.boe.es/eli/es-ct/l/2001/05/31/6>
- Briceño, T. (2016). *Nivel y evaluación de la contaminación lumínica en el Observatorio Astronómico Nacional* (Tesis de Licenciatura). Universidad de los Andes (ULA), Mérida, Venezuela.
- Brieva, E. (1988). Búsqueda de sitio para estación astrofísica en Colombia: Resultados Preliminares. Publicación interna Observatorio Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.astroscu.unam.mx/rmaa/RMxAA..10/PDF/1985RMxAA..10..397B.pdf>
- Cañavete, E. (2008). Análisis de la normativa desarrollada en España para la protección del medio nocturno frente a la contaminación lumínica (CONAMA).
- Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C. y Baugh, K. (2000). The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 318, 641–657. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/227537884>
- Diario Oficial de la República de Chile (1999). Decreto Supremo 686/98 MINECON: Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica. Publicado en el Diario Oficial el 02 de agosto de 1999.
- Diario Oficial de la República de Chile (2013). Decreto 43: Establece Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica, elaborada a partir de la revisión de Decreto Supremo 686/1998 MINECON. Publicado en el Diario Oficial el 03 de mayo de 2013. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1050704>
- Díaz, J. (2016). *Análisis de los factores normativos y metrológicos que intervienen en la contaminación lumínica de una zona urbana* (Tesis de Ingeniero industrial). Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, México. Recuperado de <http://catalogocimarron.uabc.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=217769>
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (1947). Declaración del Parque Nacional San Pedro Mártir. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 26 de abril de 1947. Recuperado de <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/DecretosDOF/Sanpedromartirsierra.pdf>
- DOF (1951). Declaración de la reserva Nacional Forestal a la Sierra San Pedro Mártir. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de julio de 1951. Recuperado de

http://dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4485326&fecha=27/07/1951&cod_diario=190401

DOF (1975). Declara de interés público la conservación y restauración de la riqueza forestal de las montañas de San Pedro Mártir, en Ensenada, Baja California para asegurar el desarrollo normal de la investigación astronómica, geográfica y demás disciplinas afines. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 17 de febrero de 1975. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4751272&fecha=17/02/1975.

DOF (2009). Programa de manejo del Parque Nacional San Pedro Mártir. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de diciembre de 2009. Recuperado de https://simec.conanp.gob.mx/pdf_pcym/119_DOI.pdf

DOF (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-1996, Eficiencia energética en sistemas de alumbrado para vialidades y exteriores de edificios. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 06 de marzo de 1997. Recuperado de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ener/ener013.pdf>

DOF (2005). Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2004, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de abril de 2005. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4919667&fecha=19/04/2005&cod_diario=149806

DOF (2013). Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2012, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de junio de 2013. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5302568&fecha=14/06/2013

DOF (2016). Actualización de la Primera Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más limpios, en términos de la Ley de Transición Energética. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 02 de diciembre de 2016. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5463923&fecha=02/12/2016

ECOTEK, (s/f). <http://www.ecotek.com.mx/lamparas-led-para-alumbrado-publico/>

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C., Elvidge, C., Baugh, K., Portnov, B., Rybnikova, N. y Furgoni, R. (2016). *The new world atlas of artificial night sky brightness*. Recuperado de <http://advances.sciencemag.org/content/2/6/e1600377>.

- Fischer, D. (1999). *Técnicas para la formulación de políticas en zonas costera*. Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, México.
- García, M. (editor), San Martín, R., Solano, H. y Francia Payàs, P. (2012). *Contaminación lumínica. Una visión desde el foco contaminante: el alumbrado artificial*. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Gagik et al. (2016). Astroclimatic characterization of Vallecitos: A candidate site for the Chereskov Telescope Array at San Pedro Mártir, *Astronomical Society of the Pacific*. 128 (961). Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1538-3873/128/961/035004>
- González, S. A., Yáñez-Navea, K. y Muñoz, M. (2014). Effect of coastal urbanization on Sandy beach coleoptera *Phaleria maculate* (Kulzer, 1959) in northern Chile. *Marine Pollution Bulletin*.
- Guanuquiza, M. y Quito, R. (2014). *Análisis y metodología de la Polución Lumínica causado por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca* (Tesis de Ingeniero Eléctrico). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- IAU (Unión Astronómica Internacional) (1976). Guía para minimizar el brillo del cielo en zonas urbanas en cercanía de observatorios astronómicos. Recuperado de http://www.iau.org/public/themes/light_pollution/
- IAU (1976). Reporte y recomendaciones de la comisión 50 de la Unión Astronómica Internacional. Identificación y protección de sitios de observatorios existentes y potenciales. Recuperado de https://www.inaoep.mx/~alberto/iaucom50_rec.html
- IAU (s/f). Controlling light pollution. Recuperado de https://www.iau.org/public/themes/light_pollution/.
- INEGI (2010). Datos de población del Censo de población y Vivienda. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/default.html#Datos_abiertos
- McDonnell, M. (Editor), Hahs, A. y Breuste, J. (2009). Ecology of Cities and Towns: A Comparative Approach. Cambridge University Press, p. 243-263. Recuperado http://assets.cambridge.org/97805216/78339/frontmatter/9780521678339_frontmatter.pdf
- Moreno-Corral, M., Costero R., and Schuster, W. (1994). High Atop the Baja, The National Observatory of Mexico. *Astronomical Society of the Pacific*, (January-February 1994).

Periódico Oficial del Estado de Baja California (POEBC) (2006). Reglamento para la prevención de la contaminación lumínica en el Municipio de Ensenada, Baja California. Publicado en el Periódico Oficial del Estado de Baja California el 29 de septiembre de 2006.

POEBC (2010). Decreto 339. Modificación de los Artículos 1, 2, 8, 38, 120 y 121. Cambio de la denominación de la Sección V, por el de Prevención y Control de la Contaminación Lumínica, del Capítulo II del Título Cuarto, de la Ley de Protección al Ambiente para el Estado de Baja California. Publicado en el Periódico Oficial del Estado de Baja California el 04 de enero de 2010.

POEBC (2011). Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Mexicali, Baja California. Publicado en el Periódico Oficial del Estado de Baja California el 08 de julio de 2011.

POEBC (2016). Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada, Baja California. Publicado en el Periódico Oficial del Estado de Baja California el 09 de mayo de 2016.

POEBC (2017). Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada, Baja California. Publicado en el Periódico Oficial del Estado de Baja California el 19 de mayo de 2017. Recuperado de <http://transparencia.ensenada.gob.mx/doc/file17472s167d87.pdf>

POEBC (2019a). Ley de Protección al Ambiente para el Estado de Baja California. Publicado en el Periódico Oficial del Estado de Baja California el 22 de febrero de 2019. Recuperado de http://www.congresobc.gob.mx/Parlamentarias/TomosPDF/Leyes/TOMO_VII/22022019_Leyproambiente.pdf.

POEBC (2019b). XXII Ayuntamiento de Tijuana: Acuerdo de Creación del Comité Técnico Asesor y de Vigilancia del Servicio de Alumbrado Público y Prevención de la Contaminación Lumínica para el Municipio de Tijuana, Baja California. Publicado en el Periódico Oficial del Estado de Baja California N° 3, sección IV, tomo CXXVI el 11 de enero de 2019. Recuperado de <https://periodicooficial.ebajacalifornia.gob.mx/oficial/mostrarDocto.jsp?nombreArchivo=Periodico-3-CXXVI-2019111-SECCI%C3%93N%20IV.pdf&sisistemaSolicitante=PeriodicoOficial/2019/Enero>

POEBC (2019c). XXII Ayuntamiento de Tijuana: Reglamento Interno del Comité Técnico Asesor y de Vigilancia del Servicio de Alumbrado Público y Prevención de Contaminación Lumínica para el Municipio de Tijuana, Baja California. Publicado en el Periódico Oficial

del Estado de Baja California N° 3, sección IV, tomo CXXVI el 11 de enero de 2019. Recuperado de [https://periodicooficial.ebajacalifornia.gob.mx/oficial/mostrarDocto.jsp?nombreArchivo=Periodico-3-CXXVI-2019111SECCI%C3%93N%20IV.pdf&sistemaSolicitante=Periodico Oficial/2019/Enero](https://periodicooficial.ebajacalifornia.gob.mx/oficial/mostrarDocto.jsp?nombreArchivo=Periodico-3-CXXVI-2019111SECCI%C3%93N%20IV.pdf&sistemaSolicitante=Periodico%20Oficial/2019/Enero)

Plauchu-Frayn, I., Richer, G., Colorado, E., Herrera, J., Córdova, A. and Ávila, F. (2017). Night Sky Brightness at San Pedro Martir Observatory. *Astronomical Society of the Pacific*.129 (973). Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1538-3873/129/973/035003/pdf>

Puro, E., Della Prugna, F. y Barroeta, G. (noviembre 2016). Programa de Protección del Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato, Mérida - Venezuela. En Galeguillos, P., Memorias XIII Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMERICA 2016. La Serena, Chile del 23 al 25 de noviembre de 2016.

Puro, E. y Hernández, J. (noviembre 2016). Marco legal del área de protección lumínica del Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato, Mérida -Venezuela. En Galeguillos, P., Memorias XIII Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMERICA 2016. La Serena, Chile del 23 al 25 de noviembre de 2016.

Sánchez de Miguel, A. (2015). *Variación espacial, temporal y espectral de la contaminación lumínica y sus fuentes: Metodología y resultados* (Tesis de Doctorado). Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/280077947>

Solano, H. (2010). *Medición de la contaminación lumínica en espacios naturales. Propuesta de un modelo predictivo* (Tesis de Doctorado).

Tapia, M., Hiriart, D., Richer, M. and Cruz-Gonzalez, I. (2007). Site testing at San Pedro Mártir. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias)*, 31, 47–60 (2007). Recuperado de http://www.astrossp.unam.mx/sitio/spm_site_tapiaetal07.pdf

Unión Astronómica Internacional (IAU) (1976). Guía para minimizar el brillo del cielo en zonas urbanas en cercanía de observatorios astronómicos. Recuperado de http://www.iau.org/public/themes/light_pollution/

Unión Astronómica Internacional (IAU) (1976). Reporte y recomendaciones de la comisión 50 de la Unión Astronómica Internacional. Identificación y protección de sitios de observatorios existentes y potenciales. Recuperado de https://www.inaoep.mx/~alberto/iaucom50_rec.html.

UNESCO (2016). Agenda Cielos oscuros con motivo de la clausura del año internacional de la luz. México. Recuperado de http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/México/video/Agenda_Cielos_Oscuros.pdf

Zamorano, J. et al. (2016). STARS4ALL Night Sky Brightness Photometer. *International Journal of Sustainable Lighting*, 35. 49-54.

Glosario

Las siguientes definiciones han sido tomadas textualmente del Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica en el Municipio de Ensenada, Baja California. (2006 y 2016*)

- Alumbrado público. Sistema de iluminación proporcionado y mantenido por el municipio de Ensenada y que tiene como finalidad principal el proporcionar condiciones mínimas de iluminación para el tránsito seguro de peatones y vehículos en vialidades y espacios públicos;
- Calidad astronómica de un sitio. El conjunto de condiciones ambientales del cielo que determinan su aptitud para la observación del cosmos. En particular, en un observatorio óptico, como es el instalado en San Pedro Mártir, incluye la oscuridad del cielo, así como la transparencia y estabilidad de la atmósfera;
- Contaminación lumínica: Brillo o resplandor de la luz en el cielo nocturno, producido por la reflexión y la difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire por el uso de luminarias inadecuadas y/o excesos de iluminación;
- Contaminación lumínica: Emisión de flujo luminoso en la atmosfera de fuentes artificiales nocturnas, en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se instala la fuente.
- *Curvas fotométricas. La representación gráfica de la distribución de las intensidades luminosas emitidas por una fuente de luz. La representación puede ser en el eje horizontal, vertical, o mixto.
- Lámpara. Dispositivo construido con el fin de producir luz;
- Luminaria. El aparato que sirve para repartir, filtrar o transformar la luz de las lámparas y que incluye todas las piezas necesarias para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito de alimentación;
- *. Luminaria Full Cut Off. Son aquellas luminarias que, en virtud de su diseño, no emiten luz

por encima del horizonte tal como lo especifica la Asociación de Ingenieros en Iluminación de Norteamérica (IESNA);

- *Luz intrusa o molesta. Luz procedente de las instalaciones de alumbrado exterior que da lugar a incomodidad, distracción, o reducción en la capacidad para detectar una información esencial y, por tanto, produce efectos potencialmente adversos en los residentes, ciudadanos que circulan y usuarios de sistemas de transportes;
- *Nadir. Punto situado directamente debajo de la lámpara.
- Sistema de iluminación. Conjunto de equipos, aparatos y accesorios relacionados entre sí para suministrar luz a una superficie o espacio; XIII. Vialidad. Es el área definida y dispuesta adecuadamente para el tránsito seguro y confortable de sus usuarios
- *Temperatura de color. Sistema para indicar el color de una fuente luminosa. Sus unidades son los Kelvin (K). La luz del día con cielo despejado corresponde a 5500K. Valores superiores se consideran “fríos” y valores inferiores “cálidos”.
- *Zona de Máxima Protección. Es la zona dentro del área incluida en un radio de 100 kilómetros tomando como centro la ubicación del Observatorio Astronómico Nacional.