

La contaminación lumínica como aproximación a la planeación urbana de ciudades mexicanas

José González-Madrigal. Consorcio para el Estudio de Zonas Metropolitanas, Querétaro, México.

Héctor Solano-Lamphar.¹ Cátedras Conacyt-CentroGeo, Querétaro, México.

Manuel Ramírez. Consorcio para el Estudio de Zonas Metropolitanas, Querétaro, México.

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

PALABRAS CLAVE | planeación urbana, efecto regional ciudad-entorno, contaminación lumínica

ABSTRACT | *In Mexico, there is a growing concern for the care of the environment based on criteria of human health and preservation of organisms that inhabit the territory. This statement can be exemplified by the regulations on air, noise, water and soil. However, little has been done to regulate artificial lighting from the environment, given that the increase in use of nocturnal artificial light has negative consequences on the biological processes of organisms that are bared to overexposure. Considering that artificial lighting is related to population growth and urbanization, this document relates this phenomenon in the local space and emphasizes the importance of establishing lighting planning considering local parameters. For this, we conduct a geographical analysis of cities in Mexico, from the needs of protection of biodiversity that are presented in them, from the Protected Natural Areas.*

KEYWORDS | *urban planning, regional effect city-environment, light pollution*

Recibido el 26 de abril de 2018, aprobado el 28 de enero de 2019.

E-mails: J. González-Madrigal, jose.gonmad@gmail.com | H. Solano-Lamphar, hasolanola@conacyt.mx | M. Ramírez, manuel.ramber@gmail.com

1 Autor para correspondencia.

Introducción

Es indudable que, en las últimas décadas, la necesidad de protección del ambiente se ha vuelto un tema de relevancia pública, tanto a nivel internacional como nacional. Fue en 1972 que se reconoció, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, reunida en Estocolmo, que la protección y cuidado del ambiente (tanto natural como artificial) es fundamental para el bienestar humano (United Nations, 1972). No son pocas las asambleas, congresos y acuerdos que se han llevado a cabo a nivel internacional después de esta fecha, los cuales incentivarían y mantienen relevante la discusión en torno a temáticas ambientales.

En 1982 se promulgó en México una legislación especializada en materia de protección, mejoramiento, conservación y restauración del ambiente, así como respecto de la prevención y control de la contaminación que lo afecte, por considerarse estos temas de dominio público e interés social (Ley Federal de Protección al Ambiente, 1982). Posteriormente, la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), promulgada en 1988 y vigente hasta la fecha, establece la necesidad de preservar y restaurar el equilibrio ecológico, con el objetivo de conseguir desarrollo sustentable. Asimismo, pretende garantizar el derecho de toda persona a una vida en un ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar.

A inicios de la década de los noventa, el Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1991-1992 partió por establecer la interrelación existente entre ambiente y desarrollo. Asimismo, considerando la distribución de la población, eminentemente urbana, atribuye especial importancia a la redistribución territorial del país, en el sentido de 'desahogar' a las grandes ciudades y promover las ciudades intermedias sin problemas de congestión, contaminación o complejidad administrativa (Secretaría de Desarrollo Social & Instituto Nacional de Ecología, 1993). Se asumía que el crecimiento urbano y el aumento de demanda de servicios indispensables para la vida y convivencia de las ciudades, traen consigo problemas de contaminación. Es por tal razón que las instituciones mexicanas reconocen que es necesaria la intervención pública cuando existan elementos en el territorio que, al interactuar con la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, lo transforme, de manera que afecte negativamente la existencia, transformación y desarrollo del ser humano y demás seres vivos.

Sin embargo, las ventajas de las ciudades como concentraciones de población también son bien aceptadas; mayor productividad se identifica con grandes ciudades (Sveikauskas, 1975) y las economías de aglomeración (Duranton & Puga, 2003) son incentivos para identificar los espacios urbanos como elementos necesarios para el desarrollo económico de cualquier país. Esto ha obligado a los organismos responsables a tratar de balancear las acciones públicas entre desarrollo económico y equilibrio ecológico, tras lo que actualmente se identifica como *desarrollo sustentable*, el cual subraya la necesidad de buscar siempre el proceso de mejora de la calidad de vida de las personas.

La tendencia de crecimiento de la población urbana en México permite afirmar que el tamaño de las ciudades presenta un crecimiento considerable. En 1970, la población urbana representaba un 58,7% del total nacional, y para 2010 la cifra

ya había aumentado a un 77,8% (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2010). Es considerando esta tendencia creciente, así como entendiendo que la contaminación es una externalidad negativa para el desarrollo, que se han establecido mecanismos de regulación y control que buscan mantener siempre el costo ambiental al mínimo posible, de manera que sea posible potenciar el desarrollo, pero también favorecer el equilibrio ecológico.

Debido a sus consecuencias más aparentes y de corto plazo, en México hay diferentes tipos de contaminación que se interpretan como de mayor prioridad. Los primeros reglamentos que entraron en vigor fueron los relativos a Prevención y Control de la Contaminación de Aguas en 1973, y aquel para la Protección del Ambiente contra la Contaminación originada por la Emisión del Ruido, en 1982. En 1988, con posterioridad a la LGEEPA, se promulgaron reglamentos de impacto ambiental, de residuos peligrosos, de prevención y control de la contaminación de la atmósfera y (relacionado con el anterior) de prevención y control de la contaminación generada por los vehículos automotores que circulan en el Distrito Federal y los municipios de la zona conurbada (Secretaría de Desarrollo Social & Instituto Nacional de Ecología, 1993).

Desde estas primeras regulaciones, han sido las relativas a la contaminación del agua, el aire y el suelo las que se han mantenido en la agenda gubernamental para su discusión. No hay duda de que todas ellas representan problemáticas necesarias de atender. Sin embargo, otros tipos de contaminación, menos conocidos y visibles, también representan riesgos significativos para la calidad de vida tanto de las personas como de toda aquella biodiversidad que habita y se desarrolla en los espacios utilizados por el ser humano. Tal es el caso de la contaminación lumínica.

La contaminación por emisión de luz

A nivel global, el área de influencia de la iluminación nocturna artificial ha aumentado rápidamente con la expansión urbana experimentada por las ciudades (Kocifaj & Solano Lamphar, 2013; Mizon, 2012; Solano Lamphar & Kundracik, 2014). La utilidad primaria de la luz artificial es mantener iluminadas las ciudades durante la noche, con el objetivo de dar viabilidad a diversas actividades que lo requieren; en este sentido, la iluminación artificial puede ubicarse como parte del sistema de movilidad, seguridad, productividad o simplemente de infraestructura (dependiendo de la agenda gubernamental). Es por ello que, según el sistema al que se le atribuya, se determinan los criterios para establecer la cantidad de luminosidad necesaria (Solano Lamphar, 2010).

La contaminación lumínica debe entenderse como la diferencia entre la iluminación que se emite, con respecto a la cantidad real que se requiere. En una ciudad, la cantidad de contaminación lumínica generada depende de las acciones de los individuos socializados dentro de la comunidad y de todas las características que influyen en la sociedad, como las actividades económicas y culturales, los hábitos de consumo, la estructura urbana, entre otras (Claudio, 2009), las cuales están determinadas por una estructura institucional que las permite o fomenta.

La cantidad de iluminación emitida no debe entenderse como equivalente a la iluminación requerida; esta no se debe calcular a partir de la regulación e infraestructura existente, sino de las diversas necesidades que una ciudad tiene, ya sea en su industria, su habitabilidad e –igualmente importante– su ambiente. Para ello, se debe de tomar en cuenta no solo la iluminación que se debe generar, sino aquella que se es capaz de asimilar sin afectar negativamente la existencia, transformación y desarrollo del ser humano y demás seres vivos (Berry, 1976; Longcore & Rich, 2006; Pike, 1976; Solano Lamphar & Kocifaj, 2013; Walker, 1970).

Diversos estudios ya han abordado problemáticas relacionadas con este tipo de contaminación, aunque generalmente se enfocan en el fenómeno de la luz y las incidencias que genera en las condiciones físicas, sin considerar las necesidades y usos que la luz intenta resolver. En sus primeros enfoques, los estudios sobre contaminación lumínica frecuentemente se centraron en aspectos astronómicos y consumo de energía. De hecho, una de las razones principales que históricamente han llevado a los observatorios astronómicos a cambiar su sede es la búsqueda de cielos más limpios, lejos de las perturbaciones visuales (Berry, 1976; Pike, 1976; Walker, 1970). No obstante, los estudios sobre las consecuencias de un exceso de iluminación artificial no deben analizar solo los procesos que afectan a la astronomía, dado que cada vez con mayor frecuencia revelan el impacto que tiene en la biodiversidad, tanto animal como vegetal, una cantidad anómala de luz durante la noche. Es por esto último que el exceso de iluminación nocturna debe considerarse como contaminante del ambiente (Ho & Lin, 2015; Hölker et al., 2010; Kim, Choi, Park, Moon, & Ji, 2015; Narisada & Schreuder, 2004; Sanhueza, 2015; Solano Lamphar, 2018).

Como se mencionó anteriormente, diversos esfuerzos de investigación se han centrado en entender el proceso y las consecuencias que el exceso de luz tiene en las condiciones de vida de algunas especies de plantas y animales, incluidos los humanos. En este contexto, hay una bibliografía creciente en la que se afirma que el resplandor artificial del cielo nocturno tiene diversos impactos negativos en los procesos biológicos de la mayoría de los organismos fotosensibles, como animales y plantas (Longcore & Rich, 2006; Vera & Migaud, 2009), insectos (Fox, 2012; Solano Lamphar & Kocifaj, 2013), así como en humanos (Anisimov, 2003; Shuboni & Yan, 2010). Sin embargo, es necesario entender que no solamente se debe analizar el fenómeno de contaminación lumínica desde la perspectiva de la afectación al ambiente. Asumiendo su forma orgánica, una ciudad se ve afectada por la contaminación lumínica de distintas maneras:

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

invernadero. Al respecto, una cantidad considerable de la electricidad que se produce en México requiere combustibles fósiles.

Entender el proceso a partir del cual se genera la contaminación lumínica implica identificar la interacción de distintos factores que tienen lugar en un espacio urbano y su área adyacente. Más allá del carácter tecnológico implícito en la fuente contaminante (como, por ejemplo, la tecnología LED), entre los factores que inciden en la contaminación lumínica se pueden mencionar algunos planes urbanos directores, así como las condiciones geográficas del espacio. Por ejemplo, algunos procesos de crecimiento urbano e industrialización con planes reguladores ineficientes, acompañados del surgimiento y auge de nuevas tecnologías contaminantes, muchas veces tienen como corolario un sistema de iluminación pobremente diseñado. El resultado es niveles inadecuados de radiación que generan contaminación lumínica en ciertas áreas habitadas por personas u organismos vivos. El proceso que se puede graficar para explicar la generación de contaminación lumínica se presenta en la figura 1.

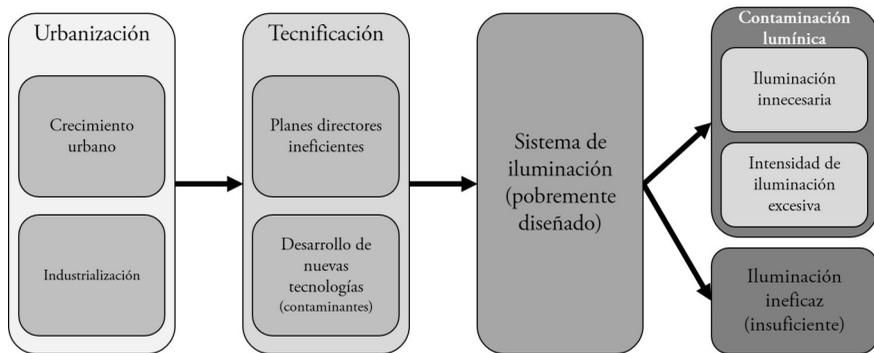


FIGURA 1 | Proceso de alumbrado ineficiente a partir de iluminación artificial

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Las características geográficas de un territorio, tanto urbanas como naturales (orografía, tipo de edificios, tipo de suelo, vegetación, entre otras), determinarán la radiación emitida por la fuente de contaminación y, como consecuencia, establecerán los parámetros de las acciones que deben considerarse para controlar el problema (Claudio, 2009; Kocifaj & Solano Lamphar, 2014b, 2016; Kocifaj, Solano Lamphar, & Kundracik, 2015; Lyytimäki, 2015). La aproximación al fenómeno desde las ciudades ha requerido la utilización de distintas variables para estimar la cantidad de luz emitida; por ejemplo, se puede utilizar la medida lumens per cápita (Garstang, 1986) para estimar y establecer la cantidad de iluminación que produce un espacio urbano; con esta lógica, 'a mayor población, mayor emisión de luz'. Sin embargo, la estimación anterior es debatible, ya que existen factores socioeconómicos y administrativos que justifican una emisión de iluminación artificial heterogénea; por ejemplo, el tipo de uso de suelo, la presencia de zonas turísticas o infraestructura y emplazamientos industriales, entre otros. Cada uno de estos

elementos, generalmente presentes en las ciudades actuales, tiene necesidades de iluminación particulares, pero también capacidades distintas de asimilación de la luz, por lo que la contaminación lumínica podrá ser más grave en algunas zonas que otras, dependiendo del excedente de luz con respecto a las necesidades que se presentan.

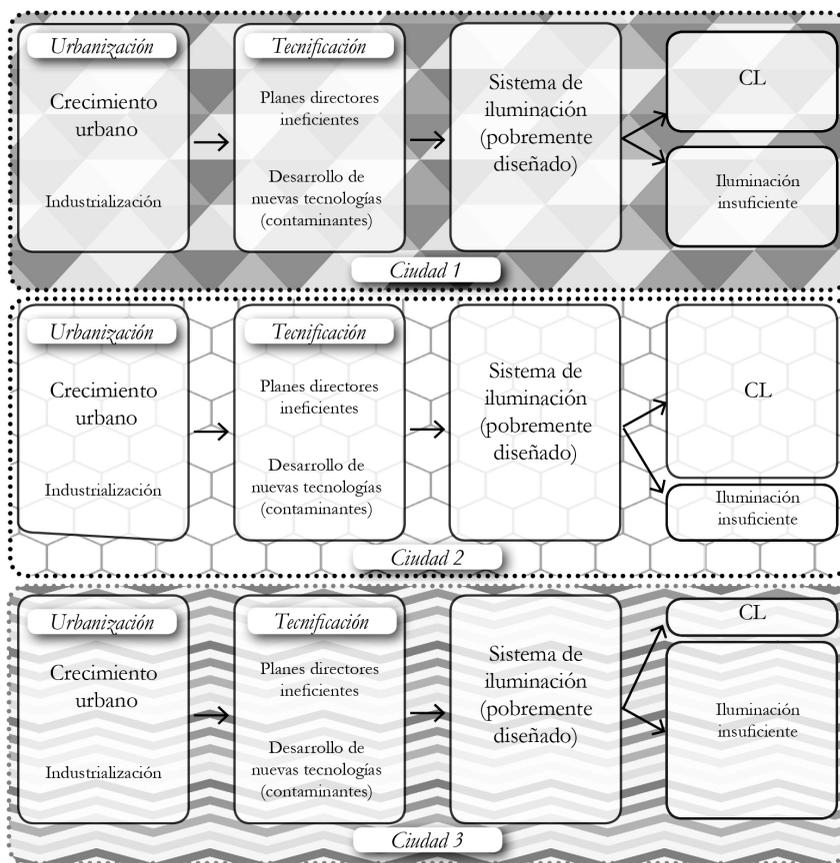
Existen factores, inherentes al ambiente de las ciudades, que en ocasiones no son tomados en cuenta por los planes maestros y que pueden causar variaciones significativas en las partículas atmosféricas que determinan la cantidad de contaminación generada. Considerando que parte de la radiación emitida por la fuente de luz escapa a la atmósfera y es absorbida y dispersada en la troposfera, principalmente por la presencia de aerosoles y moléculas de agua (Kocifaj & Solano Lamphar, 2015; Solano Lamphar & Kocifaj, 2014b), el grado de contaminación lumínica estará determinado por los factores físicos y atmosféricos del espacio en que se produzca la emisión. Aun asumiendo las ciudades como homogéneas en su proceso de urbanización y tecnificación, la existencia de diferencias en el entorno ambiental produce resultados de iluminación diferentes, en cuanto a la cantidad y tipo de contaminación lumínica generada. La figura 2 ejemplifica lo anterior: en la imagen se presentan tres ciudades con las mismas características de urbanización y tecnificación, lo que resulta en sistemas de iluminación iguales; sin embargo, en las tres se identifican condiciones ambientales variadas, lo que arroja resultados de iluminación artificial distintos para cada una de ellas. En la ciudad 1 (presentada en la figura anterior), hay niveles inadecuados de radiación lumínica, lo que genera contaminación lumínica en ciertas áreas, pero iluminación insuficiente (o ineficaz) en otras. La ciudad 2 tiene menor problema de contaminación lumínica que la anterior, expresado en cantidad e intensidad de iluminación innecesarias; sin embargo, hay en ella más áreas con insuficiencia de luz. Por su parte, la ciudad 3 presenta un resultado más adecuado, con menores áreas tanto de contaminación lumínica como de insuficiencia de luz.

En este sentido, hay entornos con mejores condiciones para la asimilación de la iluminación, por lo que la cantidad de contaminación será mínima; asimismo, hay ambientes más susceptibles a recibir afectaciones por el exceso de iluminación. En este sentido, se podría hablar de una mayor contaminación.

Otro elemento de complejidad en el análisis de la contaminación lumínica es la distribución espacial de la luz artificial en el espacio urbano. Dado que la necesidad de iluminación se ubica preferentemente en los espacios habitados y utilizados al interior de la ciudad, resulta obvia la influencia de la generación de luz al interior de ellas; sin embargo, la falta de fronteras físicas en sus límites permite que la contaminación se extienda al exterior de las mismas (Bennie, Davies, Cruse, & Gaston, 2016; Park, Muneer, & Jeong, 2015; Solano Lamphar & Kocifaj, 2016).

La figura 3 representa el ejemplo de una ciudad cualquiera con iluminación artificial homogénea. Al seguir la silueta de las imágenes, se observa que el entorno y características del espacio permiten una asimilación de luz heterogénea; la cercanía a biodiversidad, la existencia de fenómenos meteorológicos o barreras físicas son algunas de estas determinantes. En la ciudad propuesta se aprecian requerimientos urbanos de luz igualmente heterogéneos, pero que no están determinados desde lo

físico, sino desde la funcionalidad del espacio y la regulación para el uso de suelo. Esto permite la coexistencia de distintos fenómenos de iluminación en una misma ciudad. Al respecto, el punto A de la imagen presenta una situación ideal en la que el grado de requerimiento urbano es igual al de la capacidad ambiental de asimilación de luz. El punto B presenta la lógica opuesta: la ciudad presenta crecimiento inadecuado para el ambiente, ya que los requerimientos son mucho mayores que aquellos que el espacio es capaz de asimilar. En un punto medio se encuentra C, en el que la ciudad parece seguir una lógica similar (aunque mal medida) a la ambiental: en este espacio, la diferencia entre los requerimientos urbanos y la capacidad de asimilación de la ciudad es apenas cuantificable.



CL: Contaminación lumínica

FIGURA 2 | La influencia de condiciones ambientales en el proceso de iluminación artificial

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

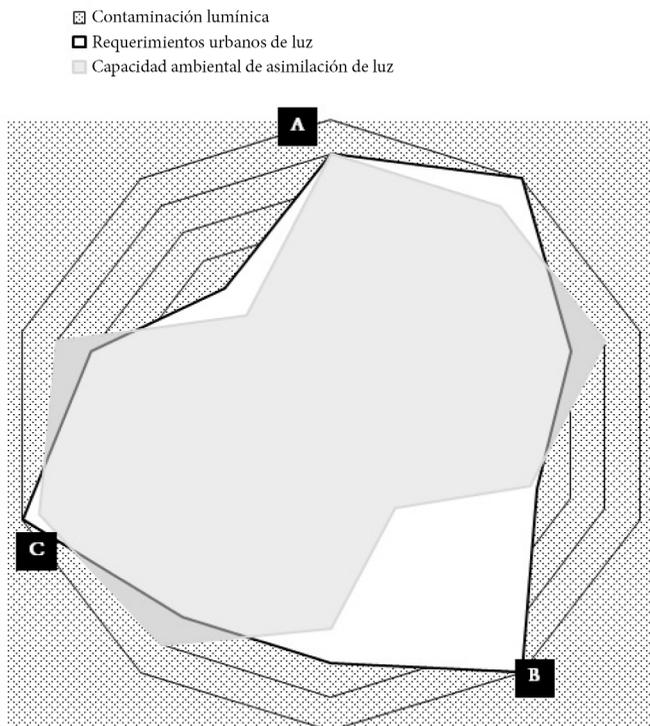


FIGURA 3 | Ejemplo de las capacidades de asimilación de luz en contraste con requerimientos urbanos

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Como elemento ilustrativo, la figura anterior permite subrayar la influencia de la luz artificial en el espacio. Como puede observarse en su punto B, aunque la emisión de luz está justificada por la regulación, el impacto en el ambiente es significativo, poniendo en peligro la sustentabilidad del mismo; esto puede incluso agravarse de existir una planeación urbana deficiente o una regulación que no tome en consideración los efectos de la polución generada por la iluminación artificial.

Al exterior de las ciudades, una cantidad cualquiera de iluminación se identifica también como contaminación lumínica, dado que abarca espacios que no requieren luz artificial o que invade la presencia de otro tipo de actividades que demandan condiciones atmosféricas específicas. Ya se mencionó el caso de los observatorios astronómicos, que requieren condiciones particulares para visualización nocturna, pero también está la existencia de especies de flora y fauna que pueden verse afectadas, especialmente dentro de espacios protegidos justamente por su diversidad biológica: las áreas naturales protegidas (ANP).

La necesidad de regulación desde lo ambiental para la iluminación artificial en México

Por razones directamente relacionadas con la distribución geográfica de las necesidades de luz, la iluminación artificial se entiende como un fenómeno de influencia local. En este sentido, la legislación mexicana establece, desde el orden constitucional, que la función de proporcionar alumbrado en espacios públicos está a cargo de los municipios (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 1917). Sin embargo, al cumplir esta función, el municipio debe supeditarse a las normas y leyes tanto estatales como federales respectivas.

Aunque no existe ley general para la iluminación artificial a nivel federal, sí es posible encontrar leyes relacionadas en materia energética. La Ley de Transición Energética (2015) designa a la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía como responsable del establecimiento de normas oficiales de eficiencia energética, de las cuales se encuentran vigentes aquellas relacionadas con:

- Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
- Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.
- Eficiencia energética de lámparas para uso general.
- Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general.
- Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (LED) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas.

Estas normas especifican los requisitos de eficiencia, instalación y otros aspectos relacionados con las emisiones de luz. También en el nivel local, algunos gobiernos municipales tienen sus propias regulaciones de iluminación pública, donde se establecen las atribuciones legales relacionadas con la luz pública; y en algunas municipalidades, las especificaciones técnicas para los tipos de lámpara, postes, instalación de red existentes. Si bien estas normas establecen parámetros técnicos de instalación de alumbrado público, se dan casos en los que no se consideran los aspectos básicos que debe tener una normativa en contaminación lumínica; entre ellos, intensidades máximas, zonificaciones, espectro de radiación o efectos ambientales, estos últimos pocas veces considerados.

A partir de esta normatividad es que se desprenden recomendaciones y lineamientos elaborados por distintas instituciones relacionadas. Ejemplo de lo anterior es el *Manual de Iluminación Vial* que propone la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2015), en el cual se establecen algunos criterios para la instalación de iluminación vial, basados en contextos visuales y de intensidad, no en cuanto posible contaminante relacionado con el ambiente.

La Ley de Transición Energética (2015) asigna a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) la tarea de emitir la normatividad relativa a la prevención y atención a la contaminación atribuible a la generación de energía. En este sentido, la Semarnat establece una variedad de normatividades en distintas

materias; entre ellas, suelo, residuos, atmósfera, agua, ruido, fomento y calidad ambiental, potabilización de agua, protección de flora y fauna.

Es notable resaltar que ninguna de las normatividades enlistadas, en particular las de atmósfera o de protección de flora y fauna, hace referencia a criterios para la protección del ambiente frente a la contaminación lumínica.

Como se mencionó en apartados anteriores, la LGEEPA (1988) establece a nivel federal los fundamentos de protección ambiental, tales como la distinción de atribuciones y preocupaciones entre los niveles de gobierno; la restauración, preservación y desarrollo del entorno natural; el control y prevención de la contaminación; la coordinación entre los sectores público y privado, y el establecimiento y administración de áreas naturales protegidas. En su capítulo VII acerca de Ruido, Vibraciones, Energía Térmica y Luz, Olores y Contaminación Visual, se establece que cualquier emisión de sonido, vibraciones, energía térmica y luminancia, así como contaminación visual, está prohibida una vez que se sobrepase el límite máximo establecido en las normas oficiales mexicanas. Sin embargo, como se comentó anteriormente, la contaminación lumínica está determinada más por los efectos visuales que por los orgánicos. Es importante señalar que no se encontró ninguna norma ambiental que amplíe aún más la regulación federal relacionada con la contaminación lumínica, o especifique los impactos y los límites permitidos, como los encontrados para la contaminación acústica u otro tipo de contaminantes.

La LGEEPA (1988) dispone que la implementación de las disposiciones establecidas en la ley general y otras regulaciones locales para controlar y prevenir la contaminación lumínica (y otros), es responsabilidad del gobierno estatal y municipal. En este sentido, los estados y los gobiernos municipales suelen emular la ley general federal de protección del ambiente en su propia legislación, por lo que, en algunos casos, las emisiones ligeras se mantienen prohibidas si superan las normas, y ello sin más contemplaciones.

Considerando esta distribución de responsabilidades, en la cual se designa al municipio como responsable de dotar de alumbrado público a sus espacios utilizados; así como una normatividad federal laxa, la cual va delegando funciones y atribuciones al nivel estatal y municipal (las cuales heredan su laxitud), es que puede entenderse la iluminación pública, al igual que sus efectos, como un fenómeno de carácter local.

La iluminación artificial nocturna en las Áreas Naturales Protegidas en México

En México es imposible hablar de *un* fenómeno de contaminación lumínica, a pesar de que la normatividad pueda ser medianamente igual en el territorio (considerando que la legislación estatal y la municipal heredan los criterios federales), pues no lo es el espacio en el que se lleva a cabo, ni los requerimientos de luz del mismo. Basta analizar el contraste entre el espectro luminoso que tienen algunas de las ciudades mexicanas con el de espacios protegidos por su riqueza ambiental, para identificar que las necesidades de luz artificial son directamente dependientes de las condiciones locales.

Desde 1988, mediante la promulgación de la LGEEPA, se establecieron espacios geográficos dentro del territorio mexicano que poseían características particulares de flora y fauna que valía la pena preservar. En este sentido, se definieron áreas naturales protegidas, de las cuales existen 182 de carácter federal (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2017), además de las áreas naturales protegidas declaradas de competencia local. Aunque la LGEEPA (1988) establece que no se podrán establecer nuevos centros urbanos en las áreas naturales ya existentes, ya que estas presentan afectaciones importantes, la figura 4 presenta la iluminación artificial (en negro) existente en 2013, contrastada con el espacio físico de las áreas protegidas (en gris). Como es posible apreciar, es un gran número el de las ciudades que se ubican geográficamente próximas a alguna área natural protegida.

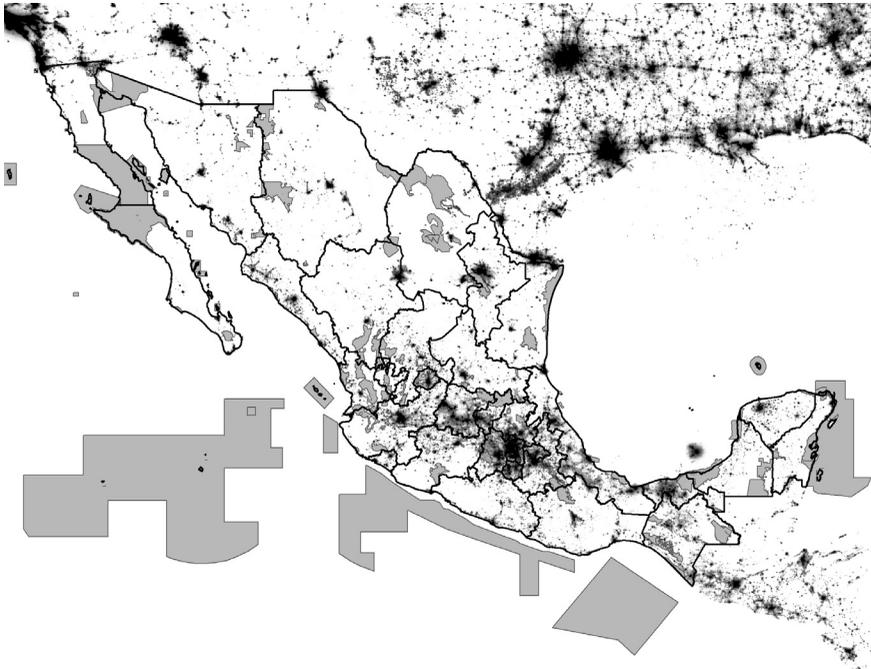


FIGURA 4 | Áreas Naturales Protegidas en México y la distribución de luces artificiales del espacio construido

FUENTE: CONANP, 2017A; NOAA'S NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER, 2013

La figura 5, por su parte, muestra más de cerca el impacto de la luz de las ciudades en las zonas protegidas del centro de México. Como es posible apreciar, en muchos de los casos los territorios ya no son solo colindantes, sino que conforman un espacio compartido.

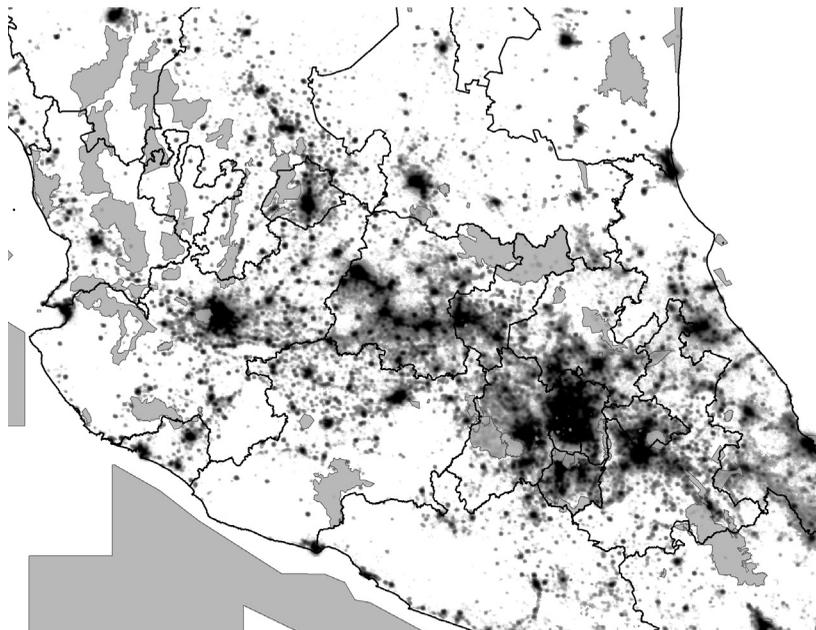


FIGURA 5 | Acercamiento a las áreas naturales protegidas en el centro de México y la distribución de luces artificiales del espacio construido

FUENTE: CONANP, 2017A; NOAA'S NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER, 2013

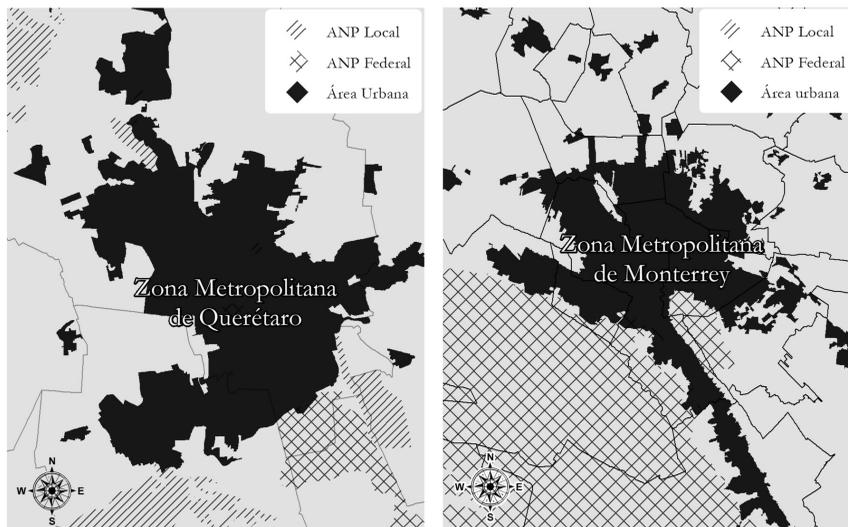


FIGURA 6 | Polígonos urbanos (negro) y Áreas Naturales Protegidas federales y locales de las zonas urbanas de Querétaro (izquierda) y Monterrey (derecha)

FUENTE: CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT), 2014; CONANP, 2017A; INEGI, 2017

Considerando su ubicación geográfica y extensión, las áreas naturales protegidas presentan condiciones que varían con respecto al tamaño de los espacios urbanos con los que tienen contacto, a sus respectivas actividades económicas y a las actividades permitidas (con respecto a la categoría y subzonificación de cada una). Por ejemplo, existen ANP contiguas a zonas urbanas de más de un millón de habitantes y que tienen una importante actividad industrial, como es el caso de Querétaro y Monterrey (figura 6), entre otras.

Diferente ejemplo de afectación a las áreas naturales protegidas se aprecia en el estado de Quintana Roo, ya que a pesar de integrar espacios urbanos con poca población, como es el caso de Playa del Carmen o Cozumel, cuenta con una alta actividad turística (figura 7). Este último caso, Cozumel, resulta significativo, ya que, a diferencia de las otras ciudades que presentaban proximidad a ANP por alguno de sus costados, se encuentra casi rodeado por espacios de importante biodiversidad.

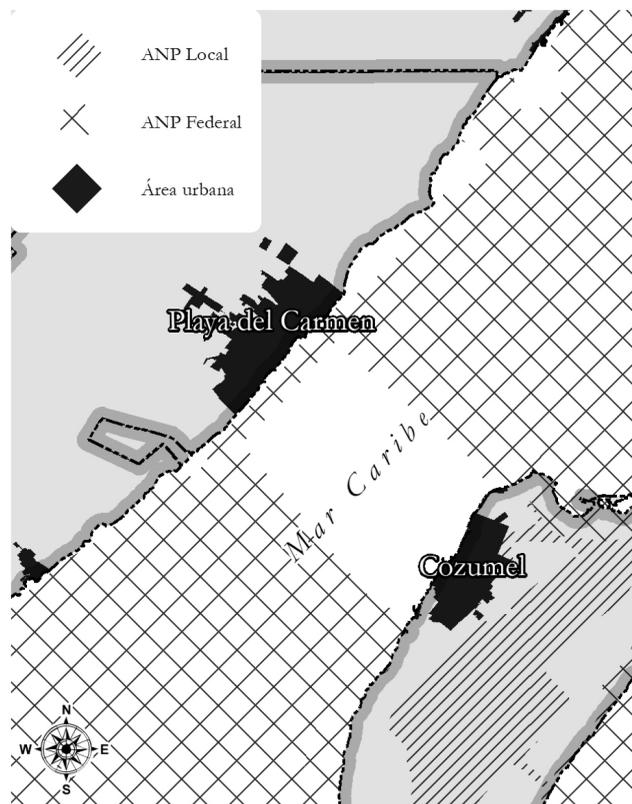


FIGURA 7 | Polígonos urbanos (negro) y Áreas Naturales Protegidas federales y locales de las zonas urbanas de Cozumel y Playa del Carmen

FUENTE: CONACYT, 2014; CONANP, 2017A; INEGI, 2017

Existen por supuesto ciudades que, ajenas a la cantidad de población que poseen, presentan menor contaminación lumínica, aun considerando su concentración de actividad (en este caso turística), solamente por encontrarse distantes de ANP. Tal es el caso de Mexicali (izquierda) y San José del Cabo (derecha) (figura 8).

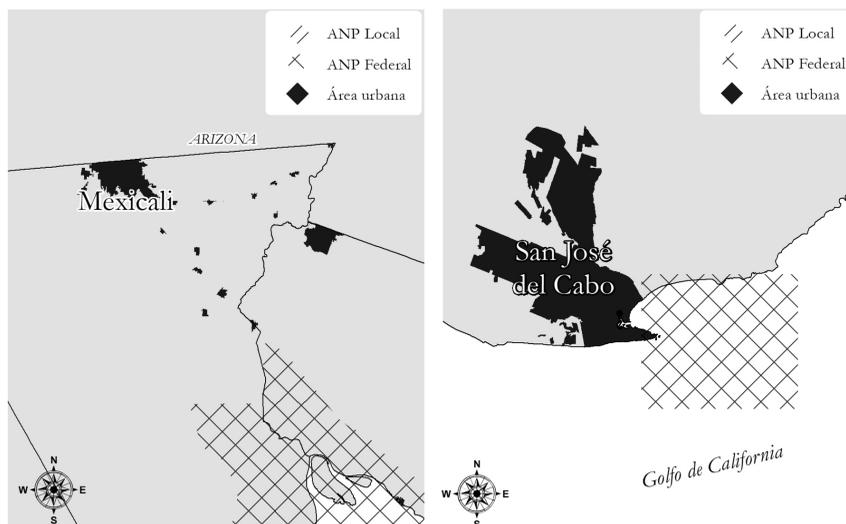


FIGURA 8 | Polígonos urbanos (negro) y Áreas Naturales Protegidas federales y locales de las zonas urbanas de Mexicali (izquierda) y San José del Cabo (derecha)

FUENTE: CONACYT, 2014; CONANP, 2017A; INEGI, 2017

Recuperando la aproximación al fenómeno de contaminación para una ciudad genérica, desarrollada en el apartado anterior, a partir de la figura 3 se puede identificar de forma más clara tanto las capacidades de asimilación como los requerimientos urbanos, tomando como ejemplo algunas de las características presentes en los casos señalados. En la figura 9 se recupera la misma ‘ciudad’, sobreponiendo dos áreas naturales protegidas, así como dos zonas comunes en las concentraciones urbanas: una zona industrial y otra comercial; con ello, es posible identificar de forma generalizada algunas de las consideraciones que determinaron tanto sus requerimientos de luz, como su capacidad de asimilar luz.

La situación de nuestra ciudad “x” es la misma que se presenta en las ciudades mexicanas, ya que –como se expresa en el documento– son espacios que pretenden el desarrollo económico y social en respeto al equilibrio ecológico, con equilibrio entre ambos. Es con base en consideraciones funcionales que las ciudades determinan sus requerimientos de luz; sin embargo, se hacen ajenas a las afectaciones que ello tiene en el ambiente, al menos desde una perspectiva de biodiversidad. Así, se presentan casos de ciudades que justifican los efectos que ejercen sobre el ambiente sobre la base de su actividad económica, como en los casos vistos de Monterrey, Querétaro, Playa del Carmen y Cozumel. Aunque existen ciudades presuntamente ajenas a

este dilema, como San José del Cabo y Mexicali, la tendencia de crecimiento que presentan las urbes mexicanas exige tomar en cuenta el riesgo que corren de afectar la biodiversidad del país, para así rediseñar la planeación urbana a una más amigable con respecto al ambiente.

- ▣ Contaminación lumínica
- ▣ Requerimientos urbanos de luz
- ▣ Capacidad ambiental de asimilación de luz

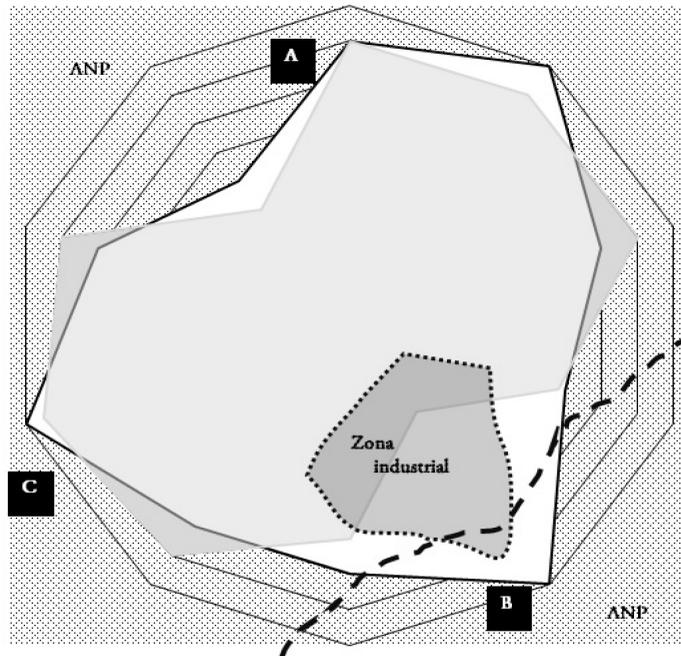


FIGURA 9 | Ejemplo de las capacidades de asimilación de luz en contraste de requerimientos urbanos

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Conclusiones

A pesar de que el estudio de la contaminación lumínica es relativamente nuevo, en varios países la investigación sobre el tema ha sido abordada por diferentes disciplinas, lo que ha llevado a descubrir y comprender los impactos negativos que genera este tipo de contaminación. La iluminación emitida desde las áreas urbanas, reflejada y dispersada en la atmósfera, impacta negativamente en diferentes ambientes. Esta situación exige desplegar especial atención en el diseño de un enfoque integral que permita una correcta recolección de datos sobre la luminosidad emitida por determinadas áreas, para posibilitar su análisis y estrategias adecuadas de control.

México presenta una variedad de configuraciones locales que tienen exigencias y capacidades de asimilación de luz distintas; basta con observar la disparidad de proximidad que presentan las áreas naturales protegidas con respecto a algunas de las ciudades, para apreciar que no todos los entornos urbanos impactan de igual forma al ambiente a partir de su generación de iluminación artificial. En este sentido, es posible afirmar que no todos los espacios locales tienen las mismas necesidades lumínicas o restricciones ambientales, por lo que debe considerarse un esfuerzo de planeación que regule la emisión de luz, atendiendo a las consideraciones de tipo espacial.

No hay duda de que la política de atención al problema de la contaminación lumínica es de carácter local; sin embargo, considerando la cantidad de actividades que reúnen, las ciudades son el espacio que mayores emisiones de luz y acumulación de contaminación presentan. En este sentido, la problemática vinculada a la contaminación lumínica, el diseño de una respuesta a ella y la implementación de medidas para su control deben responder prioritariamente a los criterios espaciales en los que tienen influencia los espacios urbanos. Es decir, se deben llevar a cabo estudios que propongan zonificación con criterios de iluminación que tomen en cuenta el entorno y las necesidades de la ciudad o ciudades dentro del municipio, según recomendaciones basadas en experiencias científicas.

La mayoría de las ciudades llevan a cabo procesos de diseño del sistema de alumbrado artificial sin considerar elementos ambientales del espacio local, sino más bien reaccionando a las nuevas tecnologías y siguiendo un plan maestro que responde a las demandas de la agenda gubernamental (seguridad o infraestructura, entre otros). En este sentido, no se encuentra garantizada la aplicación de una regulación urbana con base en requisitos reales de la iluminación artificial. El resultado de la mayoría de esos sistemas de iluminación mal diseñados es la contaminación lumínica urbana.

Como ya se hizo notar anteriormente, es imposible erradicar el impacto de la iluminación artificial en el ambiente y sus ecosistemas, dados los requerimientos funcionales de luz nocturna. Sin embargo, sí es posible (y deseable) regular la emisión de luz hasta el mínimo requerido, para así evitar exceder los niveles de iluminación aceptables; es decir, aquellos que la ciudad requiere para su funcionamiento, buscando siempre equilibrar estos requerimientos con la capacidad de asimilación ambiental.

El análisis presentado en este documento muestra la importancia de abordar el problema de la contaminación lumínica desde una perspectiva local, incorporándolo en la agenda urbana, dado que los factores involucrados en la emisión de luz, al igual que la influencia de la misma, se presentan de forma directa tanto en el ambiente como en la biodiversidad animal y vegetal del espacio local. Por las condiciones que se presentan en la actualidad, se requiere una articulación de propuestas de soluciones y acciones concretas que mejoren las condiciones de protección de las especies fotosensibles y los organismos pertenecientes a cualquier área natural protegida; asimismo, resulta indispensable una planeación urbana que contenga criterios en materia de iluminación, para que esta contribuya al crecimiento económico sin causar afectaciones a largo plazo al equilibrio ecológico. En este sentido, se pretende

la consolidación de una agenda de investigación que posibilite establecer una base científica sólida en el tema, así como la integración de una perspectiva de políticas públicas al desarrollo urbano que sea más sustentable, a partir de disminuir los problemas ambientales causados por un exceso de iluminación artificial nocturna.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la Agencia Eslovaca de Investigación y Desarrollo bajo el Proyecto No. APVV-18-0014.

Referencias bibliográficas

- Anisimov, V. N. (2003). The role of pineal gland in breast cancer development. *Critical reviews in oncology/hematology*, 46(3), 221-234. [https://doi.org/10.1016/S1040-8428\(03\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S1040-8428(03)00021-0)
- Bennie, J., Davies, T. W., Cruse, D., & Gaston, K. J. (2016). Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*, (104), 611-620. doi:10.1111/1365-2745.12551
- Berry, R. (1976). Light Pollution in Southern Ontario. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 70, 97-115. <https://adsabs.harvard.edu/full/1976JRASC..70...97B>
- Claudio, L. (2009). Switch on the night: policies for smarter lighting. *Environ Health Perspect*, 117(1), A28-A31. <https://doi.org/10.1289/ehp.117-a28>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). (2014). Áreas naturales protegidas de competencia local. <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/sistema-nacional-de-informacion/zonas-restringidas/areas-naturales-protegidas-de-competencia-local>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2017). Áreas Naturales Protegidas decretadas. https://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2017a). Áreas Naturales Protegidas, Descarga de archivos SHAPE. https://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1917). Diario Oficial de la Federación. México, 5 de febrero de 1917. <https://www.sct.gob.mx/JJURE/doc/cpeum.pdf>
- Duranton, G. & Puga, D. (2003). Micro-Foundations of Urban Agglomeration Economies. *Nber Working Paper Series*, 9931. <https://www.nber.org/papers/w9931.pdf>
- Fox, R. (2013). The decline of moths in Great Britain: a review of possible causes. *Insect Conservation and Diversity*, 6(1), 5-19. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2012.00186.x>
- Garstang, R. H. (1986). Model for artificial night-sky illumination. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 98(601), 364. <https://doi.org/10.1086/131768>
- Ho, C. Y. & Lin, H. T. (2015). Analysis of and control policies for light pollution from advertising signs in Taiwan. *Lighting Research and Technology*, 47(8), 931-944. <https://doi.org/10.1177/1477153514559795>

- Hölker, F., Moss, T., Griefahn, B., Kloas, W., Voigt, C. C., Henckel, D., & Franke, S. (2010). The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. *Ecology and Society*, 15(4). <https://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art13/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010) Censos y Conteos de Población y Vivienda. México. <https://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2017). Marco Geoestadístico Nacional. *Descarga de datos vectoriales*. <https://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463142683>
- Kim, S. H., Choi, K. W., Park, M. G., Moon, J. F., & Ji, P. S. (2015). Current States investigation and reduction method proposal for the light pollution improvement of Chungbuk Area. *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers P*, 64(3), 153-158. <https://doi.org/10.5370/KIEEP.2015.64.3.153>
- Kocifaj, M. & Solano Lamphar, H. A. (2013). Skyglow effects in uv and visible spectra: Radiative fluxes. *Journal of environmental management*, (127), 300-307. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.045>
- Kocifaj, M. & Solano Lamphar, H. A. (2014a). Quantitative analysis of night skyglow amplification under cloudy conditions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 443(4), 3665-3674. <https://doi.org/10.1093/mnras/stu1301>
- Kocifaj, M. & Solano Lamphar, H. A. (2014b). Skyglow: a retrieval of the approximate radiant intensity function of ground-based light sources. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 439(4), 3405-3413. <https://doi.org/10.1093/mnras/stu180>
- Kocifaj, M. & Solano Lamphar, H. A. (2016). Angular emission function of a city and skyglow modeling: A critical perspective. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 128(970), 124001. <https://doi.org/10.1088/1538-3873/128/970/124001>
- Kocifaj, M. & Solano Lamphar, H. A., & Kundracik, F. (2015). Retrieval of Garstang's emission function from all-sky camera images. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 453(1), 819-827. <https://doi.org/10.1093/mnras/stv1645>
- Ley de Transición Energética. (2015). *Diario Oficial de la Federación*, Distrito Federal, México, 24 de diciembre de 2015. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- Ley Federal de Protección al Ambiente (1982). *Diario Oficial de la Federación*, Distrito Federal, México, 11 de enero de 1982. https://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?cod_diario=202954&pagina=23&seccion=1
- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1988). *Diario Oficial de la Federación*, Distrito Federal, México, 24 de enero de 1988. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/148.pdf>
- Longcore T. & Rich C. (2006). Introduction. *Ecological consequences of artificial night lighting*. Los Angeles: Island Press, 1-5. <https://islandpress.org/books/ecological-consequences-artificial-night-lighting>
- Lyytimäki, J. (2015). Avoiding overly bright future: The systems intelligence perspective on the management of light pollution. *Environmental Development*, (16), 4-14. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.06.009>
- Mizon, B. (2012). *Light pollution: responses and remedies*. New York: Springer Science & Business Media. <https://www.springer.com/la/book/9781447106692>

- Narisada K. & Schreuder D. (2004). *Light Pollution Handbook*. Springer. Light pollution and astronomy, Dordrecht: Springer, 117-118. <https://www.springer.com/gp/book/9781402026652>
- NOAA's National Geophysical Data Center (2013). Image and Data processing by NOAA's National Geophysical Data Center. *DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series Versión 4*. <https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>
- Park, Y. G., Muneer, S., & Jeong, B. R. (2015). Morphogenesis, Flowering, and Gene Expression of *Dendranthema grandiflorum* in Response to Shift in Light Quality of Night Interruption. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(7), 16497-16513. <https://doi.org/10.3390/ijms160716497>
- Pike, R. (1976). A simple computer model for the growth of light pollution. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 70(3), 116-126. <https://adsabs.harvard.edu/full/1976JRASC..70..116P>
- Sanhueza, P. (2015). Highlights of the new Emission Norm for the Regulation of Light Pollution in Northern Chile. *IAU General Assembly*, (29), id 55571. <https://adsabs.harvard.edu/abs/2015IAUGA..2255571S>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (2015). *Manual de Iluminación Vial. Carreteras, boulevares, entronques, viaductos, pasos a desnivel y túneles. Distrito Federal, México*. https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf
- Secretaría de Desarrollo Social & Instituto Nacional de Ecología (1993). *Informe de la Situación en Materia de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente 1991-1992*. México, DF: Secretaría de Desarrollo Social Distrito Federal. https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- Shuboni, D. & Yan, L. (2010). Nighttime dim light exposure alters the responses of the circadian system. *Neuroscience*, 170(4), 1172-1178. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.08.009>
- Solano Lamphar, H. A. (2010). *Medición de la contaminación lumínica en espacios naturales: propuesta de un modelo productivo* (tesis doctoral). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. <https://hdl.handle.net/10803/6854>
- Solano Lamphar, H. A. (2018). The emission function of ground-based light sources: State of the art and research challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, (211), 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.02.034>
- Solano Lamphar, H. A. & Kocifaj, M. (2013). Light pollution in ultraviolet and visible spectrum: effect on different visual perceptions. *PLoS one*, 8(2), e56563. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056563>
- Solano Lamphar, H. A. & Kocifaj, M. (2015). Urban night-sky luminance due to different cloud types: A numerical experiment. *Lighting Research and Technology*, 48(8), 1017-1033. <https://doi.org/10.1177/1477153515597732>
- Solano Lamphar, H. A. & Kocifaj, M. (2016). Urban artificial light emission function determined experimentally using night sky images. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, (181), 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2016.04.027>

- Solano Lamphar, H. A. & Kundračik, F. (2014). A microcontroller-based system for automated and continuous sky glow measurements with the use of digital single-lens reflex cameras. *Lighting Research & Technology*, 46(1), 20-30. <https://doi.org/10.1177/1477153513510310>
- Sveikauskas, L. (1975). The productivity of cities. *The Quarterly Journal of Economics*, 89(3), 393-413. <https://doi.org/10.2307/1885259>
- United Nations. (1972). *Report of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 5-16 June 1972*. United Nations Publication, A/CONF/48/Rev.1. <https://digitallibrary.un.org/record/523249>
- Vera, L. M. & Migaud, H. (2009). Continuous high light intensity can induce retinal degeneration in Atlantic salmon, Atlantic cod and European sea bass. *Aquaculture*, 296(1-2), 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.08.010>
- Walker, M. F. (1970). The effects of urban lighting on the brightness of the night sky. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, (82), 672-698. <https://doi.org/10.1086/130142>