

A bid to commercialize a rare natural blue—ethically p. 1100

Beryllium bonding in a crystalline compound pp. 1106 & 1147

Changing transcription over the life span of *Drosophila* p. 1145

Science

\$15
16 JUNE 2023
SPECIAL ISSUE
science.org

AAAS

Edición especial dedicada a la contaminación lumínica

**LIGHT
POLLUTION**



Regulando la contaminación lumínica:

Más que solo el cielo nocturno

Los **impactos en la ecología, la salud, la energía y el clima son críticos**

Por Martin Morgan-Taylor

La **luz artificial durante la noche (ALAN)**, o la contaminación lumínica, causa una amplia gama de problemas. La investigación científica emergente describe el **desperdicio de energía que exacerba la emergencia climática y el daño a la salud humana (7) y la salud ecológica (2)**. A pesar de estos amplios efectos, los problemas de la luz durante la noche suelen ser expresados en términos de la pérdida del cielo nocturno en los medios de comunicación, lo que lleva al público a creer que la contaminación lumínica es un problema principalmente relacionado con la astronomía y la observación de estrellas, en lugar de ser más directamente relevante para la persona promedio a través de efectos adversos más amplios. Esta percepción pública puede estar contribuyendo a la relativamente modesta prioridad que se ha otorgado hasta ahora a abordar la ALAN en muchas jurisdicciones. Sin embargo, todos estos problemas merecen regulación, que está evolucionando en respuesta a los hallazgos de investigación en todo el mundo. A continuación, examinamos los tipos de regulación existentes y sus méritos, y luego ofrecemos sugerencias para ayudar al llamado a una mayor regulación.

Tipos de regulación existentes

Hoy en día varían dependiendo de la fuente de la ley y cómo se lleva a cabo la regulación. Las fuentes varían desde "ley dura"[™], ley vinculante de organismos supranacionales, gubernamentales nacionales o regionales, hasta "ley blanda," que puede tomar la forma de orientación no legalmente vinculante. Se pueden redactar leyes dedicadas explícitamente a la contaminación lumínica, o elementos orientados a ALAN pueden ser "añadidos" a la legislación existente que no sea específica de ALAN. La regulación puede actuar de manera proactiva para prevenir problemas en primer lugar, por ejemplo, al prevenir la venta o uso de ciertos tipos de iluminación, o limitar las salidas de luz o el derrame. O puede actuar de manera reactiva ante problemas de iluminación una vez que existen, como la luz que brilla en las ventanas. Es posible combinar un núcleo de ley dura con orientación de ley blanda de apoyo, involucrando una mezcla de lo mencionado anteriormente. Cabe destacar que cualquier regulación requiere aplicación, lo que a su vez requiere los recursos y el respaldo de las entidades encargadas de la aplicación.

Los encargados de la formulación de políticas deben considerar que la regulación vale la pena, y esto significa que los votantes deben ver el valor. La carga impuesta por la regulación debe compararse con los efectos negativos de la ALAN. Por lo tanto, **la regulación debe basarse en una comprensión completa de cómo podrían equilibrarse efectivamente los beneficios y una ley nacional que regule las desventajas de la luz durante la noche.** Debe abarcar el espectro de problemas causados por la luz durante la noche y aplicarse en la práctica. Y debe ser tan simple, fácil de entender y económico de aplicar como sea posible. Esto requiere una comprensión adecuada de los problemas y soluciones prácticas, que pueden ayudar con evidencia científica. Se requiere una comprensión general de los problemas más amplios que la ALAN puede causarnos a todos, no solo la pérdida del cielo nocturno. Las percepciones de necesidad y economía, a los ojos del público, los formuladores de políticas y los organismos de aplicación, son críticas.

EJEMPLOS DE REGÍMENES

A nivel supranacional, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ha publicado recientemente orientación preliminar sobre la contaminación lumínica para aves y murciélagos (3). Además, un número creciente de naciones está adoptando leyes nacionales, **siendo Francia y la República de Corea excelentes ejemplos de jurisdicciones** que han adoptado enfoques de ley dura. Algunos estados de EE. UU. tienen leyes duras, y otras jurisdicciones, como las del Reino Unido, han adoptado enfoques "añadidos". Examinaremos las iniciativas en la Unión Europea (UE), Francia, Corea y el Reino Unido como ejemplos.

Unión Europea

La contaminación lumínica estuvo en la agenda de la Presidencia de la República Checa de la UE en 2022. Se encargó un resumen de las iniciativas europeas (4), que mencionaba a 18 de 32 naciones europeas como poseedoras de algún tipo de legislación nacional, y la investigación científica subyacente física, ecológica, social y de salud emergente que justifica la regulación. **La contaminación lumínica también está comenzando a ser abordada por el propio bloque de la UE**; los Criterios de Compras Públicas Verdes de la UE para la Iluminación de Calles y Señales de Tráfico proporcionan recomendaciones de iluminación de calles, que incluyen la abordaje de la contaminación lumínica (5), para los formuladores de políticas y profesionales de iluminación. Este **informe recomienda atenuación y apagado selectivo, sujeto a la norma de iluminación EN13201. Diseñados principalmente para ahorrar energía, estos estándares también ayudan a reducir todos los otros efectos negativos de la ALAN**. El Plan de Acción de Cero Contaminación del Pacto Verde Europeo nombra a la contaminación lumínica como un contaminante emergente para monitorear (6). De manera similar, la contaminación lumínica se menciona como una causa del declive de los polinizadores en la Iniciativa Europea de Polinizadores (7). Aunque tal reconocimiento es positivo, el progreso en la reducción de la contaminación lumínica es lento. La investigación científica continua de estos campos respaldará los llamados a una mayor regulación.

Francia

Francia adoptó un decreto en 2018 que abarca el amplio espectro de problemas de ALAN, incluyendo la perturbación de humanos, fauna y ecología, así como la reducción del desperdicio de energía y la protección del cielo nocturno. Enmarcado en términos de desperdicio de energía y el medio ambiente, este decreto puede apelar a empresas y al público como respuesta a desafíos financieros, energéticos y climáticos. El decreto complementa el código ambiental existente de Francia, así como compromisos con edificios y urbanismo, y compromisos más amplios con el Acuerdo de París y el Pacto Verde de la UE. También define y brinda protección adicional a 11 áreas de importancia astronómica. Con el objetivo de ser preventivo, el decreto proporciona un esquema de diseño y uso para toda la iluminación, pero no aborda la venta de iluminación. A diferencia de su predecesor de 2013, se aplica tanto a la iluminación de consumo privado como a la de los sectores comercial y público. Se basa en una revisión y comprensión de la investigación científica subyacente en los problemas amplios, proporcionada por la comunidad astronómica francesa.

El decreto incluye toques de queda en la iluminación externa e interna, que son fáciles de entender y aplicar; limita la luz rica en azul durante la noche (implicada en el daño a la salud humana y ecológica) a una temperatura de color de 2400 a 3000 K; y prohíbe las luces láser que exceden las 100,000 lúmenes en muchas áreas. El decreto también limita la luz ascendente hacia el cielo nocturno y reduce el deslumbramiento, lo que reducirá la contaminación lumínica astronómica e intrusiva, y limita la "luz intrusiva excesiva en las viviendas" proveniente de todas las luces, incluidas las luces domésticas de "seguridad". Sin embargo, "excesivo" no está definido, lo que genera tensión sobre el derecho a la autodeterminación.

República de Corea

La República de Corea también ha adoptado una ley dedicada (8), principalmente para reducir el desperdicio de energía y la iluminación molesta, especialmente de vallas publicitarias. Utiliza métricas basadas en la norma internacional de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE 150). **Estas métricas son claras y transparentes, y al establecer niveles máximos de iluminación, ofrecen menos margen para juicios subjetivos sobre lo que es razonable.** Esto es beneficioso para diseñadores de iluminación y usuarios comerciales, ya que ayuda a minimizar conflictos de cumplimiento que podrían surgir como resultado de la incertidumbre y ambigüedad. La transparencia significa que los consumidores tienen acceso a métricas para determinar si tienen un caso, en lugar de arriesgar recursos financieros en acciones legales inciertas. **Sin embargo, las métricas requieren el uso de medidores de luz, lo que representa una carga de costos y capacitación para los reguladores, y esta ley no impide la venta de ciertos tipos de iluminación. Como tal, no es una ley completamente preventiva.**

Las métricas clasifican las áreas en cuatro zonas ambientales (zonas E), que van desde E1 (la más oscura) hasta E4 (la más brillante, áreas urbanas). Es probable que esta ley sea vista como directamente relevante para muchos coreanos que viven en ciudades, como aquellos que enfrentan vallas publicitarias iluminadas que brillan en sus ventanas. Una desventaja de una política basada en zonas es que, al igual que el ruido, la luz se desplaza entre diferentes zonas. Esto puede ser un problema particular en países densamente poblados, como muchos en Europa y Corea. De manera similar, las ciudades incluyen áreas de uso mixto que contienen edificios comerciales y residenciales. Estas áreas a menudo tienen vallas publicitarias iluminadas. La ley coreana utiliza los mismos máximos recomendados por CIE 150 (9). Sin embargo, **es posible que con el tiempo, la ley también adopte los toques de queda utilizados por la ley francesa, para que las vallas publicitarias iluminadas y otras luces deban apagarse.** Una ley de este tipo combinaría los mejores elementos del toque de queda y el sistema de métricas.

La regulación efectiva requiere poderes de aplicación con sanciones para los infractores. Bajo la ley coreana, las autoridades locales tienen poderes de aplicación para imponer multas y/u ordenar el cumplimiento. Las multas aumentan con la gravedad de la infracción y el número de infracciones, oscilando entre aproximadamente USD\$50 y aproximadamente USD\$1000. Aumentar las multas es una manera efectiva de garantizar el cumplimiento. Queda por verse si las autoridades locales asignarán recursos a los niveles más bajos de infracción.

Reino Unido

El Reino Unido no es una única jurisdicción, sino que consta de varios "países de origen" con autonomía en áreas especificadas, incluido el medio ambiente (devolución). Se discutirá la ley en Inglaterra aquí, ya que tiene la población más alta (10). **Todas las jurisdicciones del Reino Unido han adoptado el enfoque "añadido", en lugar de leyes dedicadas**, porque fue el método más rápido y económico, **y posiblemente porque no se consideró que mereciera el tiempo y el costo de una ley dedicada**. La consideración de la contaminación lumínica se ha agregado a los requisitos de la etapa de planificación para nuevos edificios, y para los efectos de molestias bajo las leyes de molestias estatutarias. Estos métodos se ajustaron mejor a las leyes existentes. Hubo una Comisión Real en 2009 (11), y actualmente existe un grupo parlamentario multipartidista (APPG para Cielos Oscuros) (72), ambos recomendando cambios regulatorios. Estos **fueron en respuesta a representaciones de la comunidad astronómica, incluidos recuentos de estrellas que muestran el impacto en el cielo nocturno, y por lo tanto no reflejan el espectro completo de los problemas con ALAN, lo que podría explicar la falta de una ley dedicada**.

La contaminación lumínica es ahora un factor a considerar al solicitar permisos de planificación para el desarrollo de terrenos bajo el Marco Nacional de Política de Planificación, para "limitar el impacto de la contaminación lumínica de la luz artificial en la amenidad local, paisajes intrínsecamente oscuros y la conservación de la naturaleza".

Sin embargo, este marco tiende a destacar los paisajes oscuros y la conservación de la naturaleza, lo que puede entrar en conflicto con los objetivos de la iluminación para abordar la seguridad, la protección, los intereses comerciales, etc. Por lo tanto, esta medida no es especialmente útil para abordar los problemas más amplios de la luz durante la noche.

Este enfoque "añadido" tiene debilidades, ya que intenta incorporar la contaminación lumínica en un marco existente para otra cosa, lo que puede reducir su efectividad. Por ejemplo, la ley de planificación solo cubre "desarrollo", que se limita a la iluminación en edificios existentes que afecta la apariencia visual durante el día. Esto se debe a que el sistema de planificación se interesa en la apariencia visual de los accesorios de iluminación, en lugar de los problemas que pueden causar.

La orientación complementaria de la industria de la iluminación y otros grupos de interés ambiental también puede desempeñar un papel sustancial en la regulación "añadida". Por ejemplo, el Instituto de Profesionales de la Iluminación del Reino Unido actualiza regularmente sus Notas de Orientación para la Reducción de la Luz Obstruktiva (GNO1, 2021), con orientación clara sobre cómo evitar el exceso de iluminación, y proporciona diagramas sobre cómo diseñar e instalar accesorios de iluminación correctamente. Esta orientación es muy respetada en el Reino Unido.

ALAN se agregó a la lista de posibles molestias estatutarias en 2006. Estos son delitos penales para proteger a la sociedad en general, pero requieren un acto u omisión que sea "prejudicial para la salud" o una "molestia", según la Ley de Protección Ambiental de 1990. **La evidencia científica indica claramente que perjudicar el sueño afecta la salud humana, y la investigación emergente indica que la exposición a la luz durante la noche podría perjudicar el sueño. Por lo tanto, el elemento de salud podría cubrir la pérdida de sueño** causada por la luz que brilla en las ventanas de dormitorios. Sin embargo, el problema más fundamental de añadir la luz a la legislación existente sobre molestias es **que la contaminación lumínica causa problemas mucho más amplios que el alcance estrecho del segundo elemento (molestia) del régimen de molestias. Esto solo cubre la interferencia relacionada**

con el uso cotidiano de la tierra, no las preocupaciones más amplias sobre el medio ambiente, la ecología o el cielo nocturno que la ALAN puede causar. Por lo tanto, la molestia ha tenido poco efecto en combatir la contaminación lumínica.

UN CAMINO A SEGUIR

La contaminación lumínica es un problema que puede suscitar una respuesta a favor de la luz durante la noche que es tan emocional como la respuesta a los problemas que puede causar. **Esto puede deberse en cierto grado a que gran parte de la emoción deriva de mitos y conceptos erróneos, o se basa en creencias que no necesariamente se sustentan en la evidencia.**

Estos problemas pueden centrarse en un **temor emocional a la oscuridad y una creencia de que la luz ofrece seguridad. Desde esta perspectiva, más luz siempre es mejor, lo que posiblemente explique casos en los que los residentes se oponen a la atenuación o apagado de algunas farolas.** Además, puede ser que se considere que la luz es una parte intrínseca de la libertad, donde uno tiene derecho a instalar tantas luces de seguridad como desee. **La percepción de que la luz es buena ha llevado a la interpretación común de que "bien iluminado" significa brillantemente iluminado.** Las preocupaciones sobre intentos de reducir la iluminación también pueden centrarse en la seguridad de las mujeres durante la noche. Todas estas son preocupaciones muy válidas. Y esta situación puede explicar la respuesta regulatoria algo fragmentada a la contaminación lumínica. **La investigación continua puede ayudar a respaldar o refutar estas creencias.**

Una brecha notable en la literatura es la falta de análisis económicos recientes y confiables de los costos financieros de la contaminación lumínica. Tales análisis podrían informar mejor los niveles y plazos de cambio necesarios, y la consideración de posibles incentivos financieros, como subsidios. Un artículo de 2010 indica que la ALAN costaba 7000 millones de dólares anuales solo en los Estados Unidos (73). Pero, **¿qué es la "luz desperdiciada"?** La investigación reciente de mapeo por satélite ha trazado la luz que escapa hacia arriba, pero aún no ha cuantificado su costo. Sin embargo, **una mayor comprensión y conciencia de los ahorros a largo plazo que compensan los costos de la modernización de la iluminación es posible.** Por ejemplo, en 2002, **Calgary modernizó su iluminación de calles con "luces de corte completo" (que no emiten luz por encima de la horizontal) y recuperó los costos en 6 a 7 años, antes de ahorrar aproximadamente 2 millones de dólares al año** (14).

Las llamadas a la regulación a menudo se centran en el cielo nocturno. Por ejemplo, un organismo internacional líder en la concienciación y promoción del cambio (incluidas plantillas y orientación excelentes para la regulación) se llama Asociación Internacional del Cielo Oscuro. El Comité Parlamentario Selecto multipartidista del Reino Unido se llama APPG para Cielos Oscuros. Aunque el cielo nocturno es claramente la víctima más evidente de la ALAN, es probable que la persona promedio no lo priorice entre las razones para encender luces en primer lugar. Por lo tanto, **un enfoque en el cielo nocturno puede limitar la conciencia pública y la voluntad política.** Una consecuencia no deseada del creciente número de lugares con acreditación de cielos oscuros bien publicitados ha llevado a sugerencias de que si el cielo nocturno está protegido en reservas, entonces no hay necesidad de protegerlo en áreas urbanas y urbanas, con sus necesidades de iluminación percibidas más altas para la seguridad, la protección, el comercio, etc. Un ligero cambio en las tácticas podría poner la ALAN en el radar del público en general (y, por lo tanto, de los políticos y reguladores).

El problema podría reformularse en torno a aspectos más relevantes para la vida cotidiana del público en general.

La educación puede describir cómo abordar la contaminación lumínica es un equilibrio fácilmente alcanzable entre los intereses en competencia de la necesidad de luz y las consecuencias adversas, no simplemente un llamado a apagar todas las luces para mirar el cielo nocturno. La educación podría enfatizar cómo esto implica reducir el desperdicio de energía y las emisiones de carbono en un momento de crisis energética y climática, **puede reducir el daño a la salud humana y ecológica, y puede ayudar a la seguridad y la protección al reducir el deslumbramiento. "Bien iluminado" podría llegar a entenderse no como intensamente iluminado, sino como el uso de iluminación más adecuada y eficiente,** con el objetivo de iluminar solo lo necesario y donde sea necesario. Estos son problemas que la sociedad es más probable que vea como relevantes para la vida cotidiana y más dignos de acción, y el cielo nocturno se protege como consecuencia directa.

"¿Qué tipo de regulación es probable que sea más efectiva? Las leyes dedicadas, específicamente redactadas para abordar la contaminación lumínica, como en Francia y Corea, ofrecen el control más efectivo. Estas podrían ser respaldadas por leyes "añadidas" cuando sean relevantes. Sin embargo, la contaminación lumínica también necesita elementos preventivos, guías y educativos. La **iluminación debe considerarse en la etapa de diseño y construcción**, para evitar que ocurra la contaminación lumínica en primer lugar, lo que a su vez reduce la necesidad y el costo regulatorio. **El diseño y la construcción también deben basarse en una comprensión completa del problema completo** de la contaminación lumínica, particularmente los niveles de iluminación, los espectros de color, los controles de derrame de luz y la forma en que se puede instalar físicamente la iluminación (**para evitar el deslumbramiento directo y la luz que escapa hacia arriba**).

La educación es fundamental para que todos los usuarios de luz y los reguladores sean conscientes de los problemas de la ALAN y cómo se puede lograr un equilibrio. La propiedad del equilibrio podría estar mejor ubicada en manos de grupos de interés de partes interesadas en todos los lados, que puedan contribuir al debate, a la creación y evolución de la regulación, y a la redacción de guías que puedan complementar la ley. También existe la necesidad de una investigación adicional para abordar los mitos y conceptos erróneos en torno a la luz durante la noche. La educación debe **desmantelar preconceptos como "cuanta más luz, mejor" y "bien iluminado" significa intensamente iluminado.** O que siempre se necesita iluminación, todo el tiempo, y que cualquier forma de control de iluminación es un obstáculo injustificable para la autonomía personal. Estas actitudes podrían reemplazarse por comprensión, a saber, "la cantidad correcta de luz, del tipo correcto, donde sea necesario, cuando sea necesario". La educación también debería llevar a que los problemas de ALAN sean tomados más en serio por los organismos de cumplimiento. **La educación puede ayudar a cambiar algunas actitudes existentes hacia la iluminación mostradas por el público y el comercio.** Por ejemplo, cambiar el reconocimiento del costo y el valor de la iluminación debería llevar a cambiar los hábitos de compra, por ejemplo, reduciendo la demanda de iluminación como los focos ultrabrillantes. La Asociación Internacional del Cielo Oscuro ofrece una gran cantidad de ordenanzas ejemplares excelentes y educación fundamental para los reguladores (15).

El público y los reguladores deben reconocer los beneficios y el valor de las restricciones y la carga que conlleva la regulación. Con este fin, el enfoque más fructífero podría ser **liderar los efectos adversos de la luz durante la noche que son más relevantes para la vida cotidiana**, en lugar de la

pérdida del cielo nocturno. Esto debe respaldarse con una investigación interdisciplinaria continua y una cooperación activa con las partes interesadas. En particular, la educación y la investigación podrían centrarse en los temas emotivos que promueven el uso de la luz durante la noche, como la creencia de que la luz durante la noche siempre reduce el crimen, y por lo tanto, cuanto más luz, mejor. Estimar el costo financiero y de carbono de la contaminación lumínica también sería beneficioso. El resultado será un uso basado en la evidencia, y no basado en emociones, de la iluminación.

REFERENCES AND NOTES

- 1 K. Zielinska-Dabkowska, *Nature* 553, 274 (2018).
A.C.S.Owensetal., *Biol. Conserv.* 241,108259 (2020).
- : Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals, guidance document (2022); <https://www.cms.int/en/document/draft-light-pollution-guidelines>.
4. Light Pollution Reduction Measures in Europe, Working paper for the international workshop Light Pollution 2022, during the Czech Presidency of the Council of the European Union; <https://czech-presidency.consilium.europa.eu/media/005c6wlmn/light-pollution-reduction-measures-in-europe.pdf>.
- S.Donatelloet al., Revision of the EU green public procurement criteria for road lighting and traffic signals— Technical report and criteria proposal. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019.
- COM/2019/640 final, Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, The European Green Deal.
- European Commission, COM/2018/395 final, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, EU Pollinators Initiative.
- . M.Morgan-Taylor, J. T.Kim, *J. Sustain. Light.* 18,21 (2016).

. International Commission on Illumination, Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations, 2nd Edition, CIE 150:2017; <https://cie.co.at/publications/guide-limitation-effects-obtrusive-light-outdoor-lighting-installations-2nd-edition>.

10. M.Morgan-Taylor, J. Plan. Environ. Law, 1114 (2006).

11. Royal Commission on Environmental Pollution (UK), Artificial Light in the Environment, (2009); <https://www.gov.uk/government/publications/artificial-light-in-the-environment>.

12. All Party Parliamentary Group, (UK Parliament), APPG for Dark Skies; <https://appgdarkskies.co.uk/>.

13. T.Gallaway, R.N. Olsen, D.M. Mitchell, Ecol. Econ. 69,658 (2010).

14. "Envirosmart Streetlights Retrofit Project (Northwest Calgary): Protecting the Environment--One Streetlight at a Time, The Transportation Factor 2003. Annual Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada. (Congres el Exposition Annuels de Association des transport du Canada), 2003; <https://trid.trb.org/view/700213>.

15. International Dark-sky Association, <https://www.darksky.org/our-work/lighting/public-policy/lighting-ordinances/>.

ACKNOWLEDGEMENTS

M.M.-T. is a member of the board of Dark Sky UK, the UK chapter of the International Dark Sky Association.

10.1126/science.adh7723

science.org SCIENCE

sad1He sSE00y usd Joy 1deoxa 'parHuuad Jou A[IDM1S SI UONNGUISIP pue Bsn-aYy '£207 2p onl ap Z] Uo - SYYY - zanbBupoy Jainer Ag *Bio'adusids'mmm//sdiy wou papeojumoq 'ges '£202 '@oualds