

Beneficios y riesgos de los sistemas de iluminación basada en LEDs

Benefits and risks of LED-BASED lighting systems

Diego de los Angeles Fernández Labrada^I, Miriam Vilaragut Llanes^{I,*}, Eloísa Casas Morell^{II}, Ernesto Alejandro Guerra Blanco^I, Miguel Castro Fernández^I

^I Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”. Cuba

^{II} Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras”. Cuba

* Autor de la correspondencia: miriamv@electronica.cujae.edu.cu

Recibido: 15 de septiembre de 2023 Aprobado: 27 de noviembre de 2023

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



RESUMEN/ ABSTRACT

El resultado de este trabajo trató sobre los beneficios y riesgos de los sistemas de iluminación LED en el ámbito económico, social y medioambiental y la valoración de las condiciones para su empleo en Cuba. Se profundiza en la relación de las ventajas de esta tecnología con los beneficios que ofrece su aplicación en diferentes sectores de la sociedad y la economía. También, se aborda su impacto en la industria de la iluminación y en las comunidades no conectadas a la red eléctrica en los países en desarrollo. Además, se exponen los principales riesgos que implica su utilización, identificando los campos de investigación abiertos relacionados en esta dirección, y se demuestra la importancia de considerar en los proyectos, los riesgos de la iluminación LED. Finalmente, se exponen las condiciones existentes en Cuba, para el desarrollo de la iluminación LED y su contribución a la sostenibilidad e independencia energética.

Palabras clave: luz artificial, LED, sistemas de iluminación LED, riesgos de la iluminación, contaminación lumínica.

The objectives are the analysis of the benefits and risks of LED lighting systems in the economic, social and environmental fields; as well as the evaluation of the political, economic and social conditions for the use of LED lighting systems in Cuba. The relationship between the advantages of this technology and the benefits offered by its application in different sectors of society and economy is deepened. Also, its impact on the lighting industry and off-grid communities in developing countries is discussed. In addition, the main risks involved in their use are exposed, identifying the related open research fields in this direction, and it demonstrates the importance of considering the risks of LED lighting in projects. Finally, the existing conditions in Cuba for the development of LED lighting and its contribution to sustainability and energy independence are presented.

Keywords: artificial light, LED, LED lighting systems, lighting hazards, light pollution.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años este tema ha sido de gran interés, la emisión de CO₂ es uno de los principales causantes del calentamiento global y, por consiguiente, del cambio climático, un grave problema que enfrenta la humanidad actualmente. El crecimiento de las concentraciones de este gas de efecto invernadero (GEI) se debe, principalmente, a la quema de combustibles fósiles para energía y en menor grado, a la deforestación, por lo que a nivel internacional se le presta especial atención a la mitigación de sus emisiones en el sector de la energía, uno de los sectores de mayor peso en dicho proceso.

Cómo citar este artículo:

Diego de los Angeles Fernández Labrada y otros. Beneficios y riesgos de los sistemas de iluminación basada en LEDs. Ingeniería Energética. 2024. 45 (1), enero/abril. ISSN 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

Como parte de los criterios establecidos por la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) entrada en vigor en 1994 y ratificada por 192 países, la mitigación se logra, entre otras, mediante políticas y medidas para reducir emisiones, tales como los cambios tecnológicos, ya sea debido al uso de las nuevas tecnologías o por las modificaciones en la estructura de los procesos que reducen insumos y emisiones por unidad de producto (ONU. Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático 1992. <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/convencion-marco-naciones-unidas-cambio-climatico>). Como resultado de estas políticas se encuentra el desarrollo de nuevas tecnologías como la iluminación de estado sólido (SSL, por sus siglas en inglés) en el campo de la iluminación. La SSL es un tipo de iluminación artificial que se obtiene mediante diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés), diodos emisores de luz orgánicos (OLED, por sus siglas en inglés) y diodos emisores de luz poliméricos (PLED, por sus siglas en inglés).

Estas fuentes de iluminación, especialmente los LEDs, en relación a las tecnologías tradicionales, ofrecen una gran variedad de ventajas, como alta luminosidad, gran eficacia, largos tiempos de vida, menor disipación de energía, encendido instantáneo, ausencia de contenido de mercurio, mayor resistencia a las vibraciones, dimensiones reducidas, entre otras. Por dichas razones, el empleo de LEDs en los sistemas de iluminación ha crecido significativamente en los últimos años, y seguirá creciendo en los próximos; según reporte del Departamento de Energía de Estados Unidos, se espera que esta tecnología abarque el 72% del mercado de la iluminación general para el 2025 y el 84% para el 2030 (U.S. Department of Energy. (2017). SSL Forecast Report. Energy.Gov. <https://www.energy.gov/eere/ssl/ssl-forecast-report>).

En Cuba, también, el uso de LEDs como fuentes de iluminación está aumentando vertiginosamente; el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) aplica desde el 2014 una política para implementar de forma paulatina la iluminación basada en LEDs en áreas residenciales y no residenciales, y empresas del Ministerio de Industrias (MINDUS) y de la Unión de Industrias Militares (UIM) han fabricado lámparas y luminarias con LEDs como fuentes de iluminación.

La creciente penetración en el mercado de las tecnologías de iluminación basada en LEDs obedece a varios factores, tales como:

- Las ventajas de los LEDs, mencionadas anteriormente, posibilitan significativos ahorros de energía y beneficios medioambientales y económicos. Además, las características de los LEDs permiten infinitas posibilidades en el diseño de los sistemas de iluminación en cuanto al color, la miniaturización y la integración arquitectónica.
- Una intención de desarrollo, producción y comercialización bien precisa por parte de las empresas líderes del sector y otras nuevas como las procedentes del mercado asiático.
- La voluntad política de muchos gobiernos y organismos internacionales, determinada en algunos casos por la necesidad de la búsqueda de tecnologías más eficientes energéticamente y, en otros, por la creencia a veces correcta y a veces incorrecta, de que lo nuevo siempre es mejor que lo viejo, o por la presión de los grandes comercializadores del mercado de la iluminación.
- Las campañas de promoción realizadas por muchos comerciales que solo presentan las bondades de los productos que comercializan y las debilidades de las lámparas tradicionales.

Si se analizan los factores anteriormente abordados, se puede apreciar que, a pesar de los significativos resultados de los sistemas de iluminación basada en LEDs, la utilización de estos en algún proyecto podría responder no siempre a beneficios sociales y medioambientales planificados. Ello implica la necesidad de analizar y considerar en cada proyecto de iluminación con LEDs, los beneficios y riesgos de esta tecnología. Sería irresponsable solo llevarse por el optimismo absoluto (guiados por desconocimiento o por la intención bien determinada de solo destacar beneficios y no riesgos) de las empresas e instituciones promotoras, pues, según Cutcliffe, citado por [1], “Si bien la ciencia y la tecnología nos proporcionan numerosos y positivos beneficios, también traen consigo impactos negativos, de los cuales algunos son imprevisibles, pero todos ellos reflejan los valores, perspectivas y visiones de quienes están en condiciones de tomar decisiones concernientes al conocimiento científico y tecnológico”.

Por lo expresado anteriormente, resulta esencial e imprescindible una comprensión abarcadora de los beneficios y riesgos de la iluminación basada en LEDs, por parte de científicos, ingenieros, diseñadores, productores, comercializadores y usuarios en general de los sistemas de iluminación con LEDs. Precisamente, por este motivo, y a la paulatina introducción en Cuba de sistemas de iluminación con LEDs, este artículo tiene como objetivos:

- Analizar los beneficios y riesgos de los sistemas de iluminación basada en LEDs en el ámbito económico, social y medioambiental.
- Valorar las condiciones políticas, económicas y sociales en Cuba para el empleo de los sistemas de iluminación basada en LEDs.

DESARROLLO

Beneficios y riesgos de los sistemas de iluminación basada en LEDs

La iluminación basada en LEDs como tecnología moderna que es “tiene muchas bondades, pero también es portadora de riesgos contra los cuales hay que estar prevenidos y adoptar estrategias y políticas definidas para que pasen, en el peor de los casos, como meras enfermedades benignas del progreso y no se truequen en fulminantes desastres para la humanidad” [2]. En el presente epígrafe se analizan los beneficios y riesgos de los sistemas de iluminación basada en LEDs en el ámbito económico, social y medioambiental.

Beneficios de la iluminación basada en LEDs

Debido a una mayor eficacia luminosa con respecto a las tecnologías tradicionales de iluminación, la iluminación basada en LEDs propicia un importante ahorro de energía con una mayor y mejor confiabilidad a bajo costo. Por ejemplo, según estudios del Departamento de Energía de los Estados Unidos, la sustitución en ese país de las lámparas incandescentes por lámparas basadas en LEDs, ahorran 250 000 millones de dólares en costos de energía, reduciendo el consumo de electricidad a casi la mitad [3]. Sin embargo, el impacto de los sistemas de iluminación basada en LEDs va más allá del ahorro de energía, pues estos ofrecen una enorme oportunidad para mejorar el rendimiento y el valor de la iluminación y crear nuevos paradigmas de iluminación.

La capacidad de diseñar la salida espectral de una fuente de iluminación basada en LEDs permite nuevas características, funciones y beneficios de iluminación que no son factibles con las tecnologías de iluminación tradicionales. La iluminación basada en LEDs puede diseñarse para que tenga distribuciones de potencia espectral específicas que se ajusten a aplicaciones concretas, incluidas distribuciones de potencia espectral controlables activamente, de forma que el espectro de la luz emitida pueda controlarse dinámicamente; por ejemplo, investigaciones recientes han demostrado que los humanos tienen una respuesta fisiológica a los cambios en el espectro de la luz diurna a lo largo del día[4], y este espectro cambiante puede ahora replicarse con la iluminación interior basada en LEDs. Los LEDs también pueden emitir a frecuencias que permite su uso como un medio de comunicación [5].

Para cualquier aplicación de iluminación, si se utiliza menos luz para alcanzar los niveles de iluminancia requeridos se logra una mejora en la utilización de la luz. Si una luminaria dirige un mayor porcentaje de luz a la zona objetivo, puede proporcionar la iluminancia requerida con menos energía. Esto es especialmente importante dado que las características de la iluminación basada en LEDs permiten nuevos factores de forma que pueden conducir a una mejor utilización de la luz y, por consiguiente, a un mayor ahorro de energía; por ejemplo, el pequeño tamaño de los LEDs permite un mejor control óptico y direccionalidad y, por consiguiente, maximizar la eficiencia de la aplicación, tanto óptica, como eléctrica o térmica.

Las nuevas fuentes de iluminación basadas en LEDs para zonas exteriores han demostrado la capacidad de proporcionar niveles adecuados de iluminancia utilizando una salida total de luz significativamente más baja que los productos de iluminación convencionales que han sustituido. Esto se logra a través de una mejor distribución de la luz que reduce el exceso de iluminación del área objetivo, mejora la uniformidad de la iluminancia y produce menos desperdicio de la luz que cae fuera del área objetivo, lo que se traduce, en caso de un proyecto de sustitución de luminarias con fuentes de iluminación tradicionales, en una disminución significativa de la cantidad de contaminación lumínica. Además, al lograrse un mejor aprovechamiento de la luz, por ejemplo, en un sistema de alumbrado público con luminarias LEDs instaladas por sustitución de otras tecnologías, se ilumina una cantidad significativamente mayor del área correspondiente, lo que es particularmente ventajoso para la seguridad de los conductores y los peatones.

Entre las ventajas de los LEDs con relación a las tecnologías tradicionales de iluminación están: el encendido y apagado instantáneo, el manejo de todo el espectro de colores y la posibilidad de agrupación e incorporación de elementos ópticos que permiten regular, direccionar y apantallar la iluminación según convenga para cada aplicación; por lo que estos pueden ser diseñados para ser ajustados espectralmente, proporcionando nuevos niveles de control. Dichas características han permitido el desarrollo de la iluminación inteligente y la iluminación adaptativa.

Los controles de iluminación ahorran energía al reducir o apagar automáticamente la luz cuando no se necesita. Los sistemas de control pueden basarse en la detección de la ocupación, la captación de la luz del día o pueden estar diseñados para responder a controles personales. Esos sistemas se adaptan especialmente bien a la iluminación basada en LEDs, proporcionando un ahorro de energía adicional significativo, dependiendo de la aplicación y el caso de uso. A medida que los dispositivos de control han ido adquiriendo mayor importancia, varios fabricantes de lámparas y luminarias han comenzado a integrarlos en sus productos. Algunas de las plataformas tecnológicas de controles de iluminación desarrolladas proporcionan capacidades de detección de ocupación y de aprovechamiento de la luz del día, además de temperatura de color ajustable.

El tamaño reducido de los LEDs ha posibilitado que la mayoría de las principales empresas de iluminación pongan en práctica una arquitectura de sistema de control utilizando interconexiones alámbricas o inalámbricas para vincular la preferente iluminación a los sensores, interruptores y reguladores, y las lámparas a un controlador centralizado; esto, en conjunto con la rápida penetración en el mercado de los teléfonos inteligentes, ha permitido que los controles de la iluminación puedan ser más fáciles de usar y crear oportunidades para ofrecer nuevas funcionalidades de valor añadido, además de reducir el uso de energía. Por ejemplo, un usuario puede definir nuevas funcionalidades con un sistema de control existente a través de una aplicación de software que se puede descargar en un teléfono inteligente.

El manejo de todo el espectro de colores por los LEDs también ha permitido el desarrollo de nuevas aplicaciones de la iluminación en campos tan diversos como la horticultura y la salud humana. La iluminación hortícola representa una aplicación cada vez más importante que aprovecha la capacidad de adaptación y ajuste espectral de las fuentes de iluminación basada en LEDs. Los cambios en el espectro de la luz influyen en varios aspectos del crecimiento de las plantas, como el tamaño de la planta, el proceso de germinación, la floración y la vegetación. Las regiones azules y rojas del espectro son las regiones clave para la actividad fotosintética. La fotosíntesis tiene lugar principalmente en las hojas de las plantas utilizando pigmentos verdes, que pueden absorber una longitud de onda diferente de la luz (principalmente en las regiones azul y roja) y pasar su energía a la molécula central de clorofila para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. El uso de iluminación de longitudes de onda adaptadas para la horticultura permite que las granjas de interiores sean energéticamente eficientes, y el control dinámico del espectro puede mejorar el rendimiento[6].

En el campo de la salud humana, la iluminación basada en LEDs brinda numerables beneficios, por supuesto, si se emplea correctamente, sino sucede todo lo contrario. Esto se debe a que la tecnología LED permite el control necesario de la salida de luz, el espectro y la distribución de la luz de los sistemas de iluminación, pues según investigaciones recientes, la luz no sólo permite la visión, sino que también es una señal crítica para los sistemas biológicos, que afecta a los ritmos circadianos, la respuesta de las pupilas, el estado de alerta y más [7]. Por ejemplo, cuando los humanos se exponen a la luz con un alto contenido de azul, la liberación de melatonina se suprime, haciendo más difícil la conciliación del sueño, por lo que el control de la luz azul es importante para la salud [8]. Además, la sintonización del espectro de la iluminación a lo largo del día puede mejorarla productividad del trabajo y en los entornos educativos, la sincronización del reloj circadiano interno, la actividad diurna, el estado de alerta y un mejor sueño por la noche, la relajación nocturna y la activación matutina para los pasajeros en la cabina de los aviones, y reducir la duración de la terapia para aliviar la depresión unipolar [9].

Por otra parte, en el ámbito ambiental, la iluminación basada en LEDs proporciona importantes posibilidades. El aumento de la eficacia luminosa de los LEDs, además de propiciar la reducción del consumo de energía, del costo del ahorro de energía y de la seguridad energética, permite reducir las emisiones de GEI y otros contaminantes procedentes de la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad. Según proyecciones del Departamento de Energía de los Estados Unidos, la sustitución de las lámparas incandescentes por lámparas LED reducirá el consumo de electricidad a casi la mitad y evitará la emisión de 1.800 millones de toneladas métricas de carbono en las próximas dos décadas[3].

Los sistemas de iluminación con LEDs como fuente luminosa también ofrecen otros beneficios ambientales tales como: la reducción del uso de materiales tóxicos, escasos, críticos o de alto consumo energético. Además, los nuevos niveles de control del espectro y la distribución óptica de la luz emitida pueden reducir al mínimo el impacto de la iluminación en los ecosistemas. Las características de los LEDs facilitan la implementación de iniciativas en el sector de la iluminación que buscan limitar aún más los impactos negativos al medio ambiente; entre estas se encuentran:

- Minimización de la contaminación lumínica de las farolas: los productos de iluminación LED, con una mejor distribución óptica que las tecnologías de iluminación tradicionales, pueden reducir significativamente la cantidad de luz que se desperdicia hacia arriba en la atmósfera.
- Reducción de los impactos ecológicos de la iluminación nocturna en la fauna: con un apropiado diseño de iluminación exterior es posible minimizar el posible efecto que la iluminación en la costa podría tener sobre las crías de tortugas marinas después de que hayan entrado en el mar [10].
- Reducción de la cantidad de materiales de alto consumo energético como el aluminio: las dimensiones reducidas de los LEDs permiten un diseño de luminaria LED que tenga en cuenta este objetivo.

Posibles riesgos de la iluminación basada en LEDs

“La interacción del hombre con la naturaleza es una condición básica e indispensable para la existencia y desarrollo de la sociedad. Sin embargo, en dependencia de cómo sea ese nexo, planificado o arbitrario, racional o irracional, consciente o espontáneo, así será también el futuro del medio natural en que habita el hombre y, por consiguiente, el de la propia humanidad” [11].

Estas palabras confirman que, en el caso de la iluminación artificial, es vital e imprescindible tener en cuenta todos sus efectos (positivos y negativos) para evaluar y mitigar sus posibles riesgos en los distintos proyectos que se desarrollen. Si se entiende por contaminación lumínica su definición más general, como la introducción de luz artificial en el medio ambiente nocturno, se deduce que no es posible su supresión absoluta. Sin embargo, la tecnología de la iluminación, si se usa de manera adecuada, permite limitar la mayoría de los efectos negativos de la contaminación lumínica. El hecho de que la iluminación basada en LEDs sea muy eficiente implica riesgos también, pues culturalmente la sociedad prefiere mantener el nivel de gasto, pero producir más luz; es decir, como los LEDs hacen posible emitir más luz con menos costo, esta ventaja puede convertirse en desventaja desde el punto de vista de la conservación del cielo nocturno y de la limitación de la contaminación lumínica.

Para proteger el cielo para su observación se debe tener en cuenta que el esparcimiento de la luz en la atmósfera es responsable del resplandor artificial del cielo nocturno, que se manifiesta en forma de halo luminoso que envuelve pueblos y ciudades. Esto ocurre cuando la luz procedente de los sistemas de alumbrado, sea directa o reflejada, interacciona con las moléculas del aire y con las partículas en suspensión (aerosoles). La luz blanco-azulada que emiten los LEDs que se comercializan actualmente es la más nociva para el medio nocturno y para la salud humana; estos dispositivos emiten un máximo valor o pico en longitudes de onda corta, próximas a los 460-470 nanómetros, correspondiente al color azul. Este tipo de luz se difunde con mayor eficacia en la atmósfera, por lo que causa una mayor contaminación lumínica. Algunos fabricantes plantean que, debido a la direccionalidad de la luz de los LEDs estos evitan la contaminación lumínica ya que no difunden luz por encima del horizonte.

Esto no es cierto, pues existe la posibilidad del diseño de luminarias con LEDs significativamente contaminantes; por ejemplo, en el mercado existen luminarias orientables a criterio del usuario. La luz blanco-azulada es también la que más altera la conducta de las especies de vida nocturna y, por tanto, la que más afecta a la conservación de la biodiversidad en sus condiciones naturales [12]. De igual forma, la luz blanco-azulada de los LEDs es la que provoca de forma más rápida la inhibición de la secreción de la hormona melatonina por parte de la glándula pineal en los seres humanos. Esto se debe a que los receptores circadianos en la retina (además de los conos y bastones) son precisamente más sensibles a ese pico de emisión luminosa en las longitudes de onda azules.

Esta hormona solo se secreta en condiciones de oscuridad y, además de controlar los ritmos circadianos, es un antioxidante de amplio espectro que protege al organismo humano, entre otras enfermedades, frente a las alteraciones degenerativas y contra ciertos tipos de cáncer, evitando su progresión [7]. Otros estudios plantean que los niños representan el sector de la población potencialmente más afectada ante la presencia de la luz blanco-azulada de los LEDs, pues aún no han desarrollado completamente la capacidad de filtrado del cristalino [7]. También son muy vulnerables los profesionales expuestos por largos periodos o con mucha frecuencia a este tipo de luz. Ante estos hechos, como los seres humanos están constantemente inmersos en ambientes de iluminación artificial, se deberían adoptar medidas de precaución por parte de los responsables de las instalaciones de alumbrado, especialmente cuando existen alternativas conocidas que no presentan este riesgo potencial por tener limitada la emisión en el azul.

Otro aspecto negativo del empleo de la luz blanca fría es su contribución a la diseminación de enfermedades transmitidas por insectos, pues la iluminación nocturna artificial modifica el comportamiento tanto de la población como de los insectos, facilitando así el contacto entre seres humanos y especies transmisoras de enfermedades como la leishmaniosis y la malaria [12]. La iluminación de las grandes, medianas y pequeñas urbes podría resultar una intrusión de luz artificial durante la noche en los ecosistemas que existen en estas o cercanos a estas. La luz intrusa en los ecosistemas representa un factor de distorsión de las condiciones naturales; a continuación, se presentan algunos efectos de la luz intrusa sobre los seres vivos:

- Desorientación de aves migratorias y tortugas marinas.
- Alteración por la atracción de presas a la luz: para algunas especies de murciélagos la presencia de luz nocturna es un factor crítico. La presencia de alumbrado público genera una atracción de insectos alrededor de las luminarias. Las especies de murciélagos tolerantes a la luz, como el murciélago enano (*Pipistrellus pipistrellus*), pueden aprovechar estas fuentes de luz y ver favorecida su estrategia de captura, y así mantener una dieta basada exclusivamente en insectos que se ven atraídos por las fuentes de luz, lo cual puede propiciar el aumento de las poblaciones de dichos mamíferos voladores.
- Pérdida de zonas de caza para depredadores nocturnos.
- Dificultades para la alimentación de pequeñas especies: a algunas especies nocturnas, como los ratones de playa, les cuesta alimentarse en zonas ligeramente iluminadas debido a la exposición a depredadores.
- Alteración de ciclos circadianos en mamíferos.
- Reducción nocturna de la actividad en algunas especies de ratones nocturnos, lo que implica menos posibilidad de alimentación [13].

La iluminación artificial desmedida de las vías públicas y espacios privados impacta en otros ámbitos como la seguridad de las personas. La iluminación proporciona una innegable sensación de seguridad, pero si no está bien planificada ocasiona fatiga visual y deslumbramientos y relajación de la alerta en la conducción. Asimismo, y pese a la extendida creencia al respecto, no existe una relación directa entre más iluminación y menos delincuencia, si bien una iluminación inadecuada sí dificulta, por ejemplo, el funcionamiento de las cámaras de seguridad. El uso indiscriminado de la iluminación comercial, industrial, publicitaria, ornamental, pantallas luminosas y señalización, puede tener un impacto cultural negativo sino se implementan y cumplen políticas para preservar el patrimonio de las ciudades y pueblos donde se lleve a cabo un proyecto de alumbrado.

Impacto en la industria de la iluminación

El desarrollo de los LEDs como fuentes de iluminación y sus numerosas ventajas ha transformado la industria de la iluminación. El tradicional dominio mundial de las grandes empresas, como GE, Osram, Panasonic y Philips está siendo desafiado por muchas nuevas empresas. Algunas de estas nuevas empresas, como Nichia, Seoul Semiconductor, Epistar y Sanan Optoelectronics, producen solamente semiconductores y encapsulados LED, mientras que otras, como Cree, se están expandiendo. Por su parte, Osram y Philips están dividiendo sus negocios en varias unidades para proporcionar una mayor flexibilidad en la adaptación a nuevos mercados, y GE y Panasonic compran la mayoría de sus LEDs a otras empresas para integrarlos en sus lámparas y luminarias. Todo este movimiento en la industria de la iluminación ha favorecido el surgimiento de nuevos empleos y el aumento de conocimientos, capacidades y destrezas técnicas por parte del recurso humano, así como de nuevas herramientas, instrumentos y procedimientos de trabajo para los profesionales de la iluminación.

La voluntad de las empresas y los gobiernos asiáticos de hacer grandes inversiones en la fabricación de equipos y el desarrollo de una estructura de suministro local está dando lugar a una distribución geográfica más amplia de la industria. Por ejemplo, los fabricantes de LEDs de los Estados Unidos pueden realizar el crecimiento y el procesamiento de las obleas de LED en los Estados Unidos, después de lo cual los semiconductores LED se envían a China para el proceso de encapsulado y luego se devuelven a los Estados Unidos para su integración en las luminarias de las calles. El pequeño tamaño y peso de los semiconductores y encapsulados LED hace que las transferencias intercontinentales sean económicas, pero hay un mayor incentivo para fabricar grandes luminarias con LEDs cerca del cliente.

Los fabricantes están reaccionando de varias maneras a la dinámica cambiante del mercado. La mayoría de las empresas de China han ampliado agresivamente su capacidad para obtener la máxima cuota de mercado, mientras que la demanda es fuerte y los precios relativamente altos. Las empresas europeas y estadounidenses se están diversificando, haciendo hincapié en el valor añadido de la iluminación basada en LEDs y en las oportunidades de proporcionar iluminación como servicio. El diseño, la fabricación y la instalación de la iluminación basada en LEDs requiere muchas habilidades nuevas. Asociaciones como la Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norteamérica (IESNA, por sus siglas en inglés) ofrecen educación a distancia, mientras que universidades como el Instituto Politécnico Rensselaer (RPI, por sus siglas en inglés) y la Universidad de California en Davis han establecido programas especiales para apoyar los cursos de licenciatura y de posgrado, así como la investigación en iluminación basada en LEDs.

Muchas empresas de servicios públicos en el mundo tienen actividades educativas para promover la comprensión y la aplicación efectiva de la iluminación basada en LEDs; sin embargo, aún es necesario realizar más investigaciones para comprender plenamente los impactos de la luz en la salud humana y en los seres vivos, por lo que la revolución que representa la iluminación basada en LEDs, en cuanto a paradigmas de iluminación, ha propiciado un aumento considerable de investigaciones en esta dirección y el fortalecimiento de alianzas entre la industria de la iluminación y los centros de investigación y universidades.

Otro campo de investigación que está abierto, aunque aún muy incipiente, es el análisis de confiabilidad de los sistemas de iluminación basada en LEDs, pues los mecanismos y modos de falla de los LEDs son muy complejos, y los métodos tradicionales frecuentemente usados para detectar fallos en las fuentes tradicionales de iluminación no pueden ser aplicados a dichos dispositivos debido a que estos se degradan continuamente. Precisamente, tal complejidad ha obligado a la Sociedad de Ingeniería en Iluminación a desarrollar normas y especificaciones que permiten a los profesionales de la iluminación evaluar fácilmente a los LEDs y a los sistemas de iluminación con LEDs, aunque aún quedan bastantes criterios y procedimientos por estandarizar; por ejemplo, aún las normas internacionales actuales con los métodos para la predicción de la confiabilidad solo consideran como modo de falla la degradación del flujo luminoso, pese a que además de este, el cambio de color es uno de los más importantes, pues no considerarlo podría generar resultados no deseados a la industria y a los usuarios.

Impacto en las comunidades no conectadas a la red eléctrica en los países en desarrollo

En los países en desarrollo, uno de los principales efectos de la iluminación basada en LEDs es la posibilidad de una iluminación de alta calidad en las comunidades en las que la iluminación ha sido anteriormente inadecuada. Los altos valores de la eficacia luminosa y el pequeño tamaño de los LEDs han favorecido el desarrollo de lámparas solares, las cuales son sistemas de iluminación compuestos por lámparas LED, paneles fotovoltaicos, batería eléctrica, controlador de carga y un inversor. Además de los ahorros financieros, la iluminación solar ofrece importantes beneficios ambientales y de salud, pues todavía en el mundo, muchos millones de personas dependen de la quema de lámparas de queroseno, que son las principales fuentes de emisión de carbono negro, el segundo mayor contribuyente al calentamiento global. El uso de estas fuentes de luz también es peligroso debido al riesgo de incendios y a la toxicidad del combustible, que contiene una alta proporción de partículas pesadas [14].

La integración de la iluminación basada en LEDs con los sistemas fotovoltaicos también ha propiciado la realización de clases nocturnas en escuelas, el funcionamiento prolongado de clínicas de salud y otras actividades sociales en comunidades rurales que antes eran poco prácticas. Además, dicha integración tiene un impacto económico más amplio, pues facilita el acceso a la energía eléctrica de menor costo, por lo que los fondos que antes se utilizaban para comprar queroseno o velas, en la actualidad suelen emplearse para adquirir sistemas de energía solar más grandes, lo que ofrece oportunidades para iniciar pequeñas empresas y mejorar la calidad de la vida familiar. El hecho de que se haga más fácil el acceso a la educación y la atención médica puede impactar indirectamente en el aumento de la productividad en los países en desarrollo.

Condiciones políticas, económicas y sociales en Cuba para el empleo de los sistemas de iluminación basada en LEDs

La Constitución de la República de Cuba, en su artículo 21 (“El Estado promueve el avance de la ciencia, la tecnología y la innovación como elementos imprescindibles para el desarrollo económico y social”)(Gaceta Oficial. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/constitucion-de-la-republica-de-cuba-proclamada-el-10-de-abril-de-2019>)le concede a la tecnología un papel protagónico para el desarrollo económico y social del país. Dando cumplimiento a este artículo, una de las tecnologías que se está implementando en Cuba, debido a las ventajas que presenta, es la iluminación basada en LEDs.

El documento mencionado anteriormente evidencia que existe en el país una política bien determinada para promover y estimular el uso de tecnologías con el objetivo de garantizar el desarrollo económico y social en Cuba. De igual forma, algunos párrafos de los documentos aprobados en el 7mo. Congreso del Partido Comunista de Cuba como: la “Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista” (párrafo 107)(PCC, (2017b). Documentos del 7mo. Congreso del Partido aprobados por el III Pleno del Comité Central del PCC el 18 de mayo de 2017. <http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2725/1/Conceptualizaci%C3%B3n%20del%20Modelo%20Econ%C3%B3mico%20y%20Social%20Cubano%20de%20Desarrollo%20Socialista.pdf>), el “Plan Nacional de desarrollo económico y social hasta 2030: propuesta de visión de la nación, ejes y sectores estratégicos” (párrafos 19, 40, 113, 122, 163 y 177)(PCC, (2017a). Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030: Visión de la Nación, Ejes y Sectores Estratégicos. <http://repositorio.geotech.cu/jspui/handle/1234/2723>)y los “Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021” (lineamientos 24, 202, 204, 206 y 208), (PCC, (2017c). Lineamientos de la Política económica y social de Partido y la Revolución para el período 2016-2022), muestran el mismo propósito.

Como parte de las acciones que se están realizando para dar cumplimiento a los artículos de la Constitución, en la Gaceta Oficial No. 95 (ordinaria) se publicó el 28 de noviembre de 2019 el Decreto Ley No. 345, “Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía”, acompañado de resoluciones complementarias de los ministerios de Energía y Minas y de Comercio Interior y una instrucción del Banco Central, que establece las prioridades y regulaciones que regirán este sector e introduce, entre otras, novedades referentes al sector estatal y residencial, la venta de excedentes de energía a la Unión Eléctrica (UNE) y la comercialización de equipos, partes y piezas.

Entre los objetivos principales incluidos en dicho decreto ley están la elevación del aporte de las fuentes renovables de energía en la generación de electricidad (se prevé superen el 24% del total en 2030), la sustitución progresiva de los combustibles fósiles, la diversificación de la estructura de los combustibles fósiles empleados en la generación y la elevación de la eficiencia y el ahorro energéticos. Igualmente, son prioridades la estimulación de la inversión y la investigación, y el desarrollo de la producción de equipos, partes y piezas de repuesto por la industria nacional(Gaceta Oficial. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-95-ordinaria-de-2019>).

Entre las Resoluciones complementarias al Decreto Ley No. 345 se encuentran (Gaceta Oficial. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-95-ordinaria-de-2019>):

- Resolución No. 124 del MINEM establece las regulaciones para elevar la gestión, la eficiencia y la conservación energéticas, así como el control de los sistemas de gestión de la energía en entidades grandes consumidoras de energía. Es de aplicación a personas jurídicas estatales y no estatales, sociedades mercantiles de capital 100% cubano y las modalidades de inversión extranjera.
- Resolución No. 141 del MINCIN: aprueba el procedimiento para la comercialización de equipos que utilicen fuentes renovables y para el uso eficiente de la energía.

El Decreto Ley No. 345, además, declara como un objetivo de la industria nacional la producción de equipos, medios y piezas para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y los destinados a elevar la eficiencia energética. La implementación de las políticas, resoluciones y decretos leyes abordados anteriormente, ha tenido un impacto económico, social y medioambiental en Cuba. En los párrafos siguientes se presentan algunos ejemplos. La Empresa de Componentes Electrónicos Ernesto Che Guevara, de Pinar del Río, produce sistemas de alumbrado y otros equipos domésticos que utilizan los paneles fotovoltaicos como fuente de energía y algunas empresas de la Unión de Industrias Militares y del Grupo de la Electrónica fabrican luminarias LEDs destinadas al alumbrado público y a la iluminación doméstica. La fabricación de este tipo de productos ha propiciado la creación de nuevos empleos, la capacitación de todo el personal y la actualización de los procesos en dichas empresas.

Los vínculos entre la Educación Superior y las empresas se han fortalecido. El MES creó un grupo nacional compuesto por varias universidades, que coordina de forma colaborativa y colegiada, y dentro de los marcos legales vigentes, proyectos de investigación y desarrollo y servicios científico-técnicos para dar respuesta a cuestiones fundamentales en la implementación de la “Política para el desarrollo prospectivo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía hasta 2030”. Las universidades cubanas han asumido la capacitación de ingenieros y técnicos que laboran en proyectos relacionados con las energías renovables y la eficiencia energética. Además, se han incorporado al currículo de algunas carreras, contenidos y asignaturas optativas con temas pertinentes a dicha política; por ejemplo, en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” se imparte la asignatura “Fuentes de Iluminación de Estado Sólido” y en el proyecto de curso de primer año los estudiantes deben diseñar un sistema de alumbrado.

En Cuba se ha avanzado bastante en materia de iluminación basada en LEDs, sin embargo, todavía queda mucho por hacerse. Resulta imprescindible incrementar las investigaciones para evaluar los impactos de la luz basada en LEDs en la salud humana y en los seres vivos. También, es preciso que los programas educativos y promocionales sobre esta tecnología, además de abordar en sus beneficios profundicen más en sus riesgos. Aunque se ha trabajado en la confección de normas cubanas para regular los aspectos relacionados con los sistemas de iluminación basada en LEDs (se normaron, por ejemplo, los requisitos que deben tener los sistemas de iluminación basada en LEDs que se empleen en el país), aún no se ha logrado implementar en la industria nacional normas y especificaciones que permitan a los fabricantes y usuarios evaluar la confiabilidad, mantenimiento y seguridad de estos.

En la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” se lleva a cabo una investigación sobre este tema. Además, es necesario actualizar las regulaciones para la iluminación comercial, publicitaria, ornamental y de señalización, teniendo en cuenta los efectos negativos que pueden ocasionar a los ecosistemas y en la salud humana y en los seres vivos; por ejemplo, en el año 2019, debido al entusiasmo por el 500 aniversario de la Villa de San Cristóbal de La Habana y por lo atractivo que resulta una nueva tecnología como la iluminación basada en LEDs, muchas calles principales de la capital cubana se vieron inundadas de luces intermitentes con LEDs azules, lo cual implicó molestias en el campo visual de los conductores y los peatones.

CONCLUSIONES

La iluminación basada en LEDs representa un cambio de paradigma en la iluminación artificial y tiene un gran impacto en la economía global, en el ahorro de energía y en el medio ambiente. Las características de los LEDs proporcionan un valor que va más allá del simple ahorro de energía, como beneficios para la salud, mejoras en la productividad, una mejor producción agrícola, una integración simplificada de los sistemas de gestión de la energía de los edificios y un mejor control y comunicación entre la iluminación y la automatización de las viviendas, entre mucho otros.

Aún es necesario realizar más investigaciones para comprender plenamente los impactos de la luz en la salud humana y en los seres vivos, por lo que hay una tendencia al aumento de investigaciones en esta dirección y el fortalecimiento de alianzas entre la industria de la iluminación y los centros de investigación y universidades. Otro campo de Investigación que está abierto y aún es muy incipiente, es el análisis de confiabilidad de los sistemas de iluminación basada en LEDs. Resultaría irresponsable y catastrófico si en los proyectos de iluminación basada en LEDs solo se tuvieran en cuenta los beneficios de esta tecnología y no los riesgos, pues, existe por parte de las empresas e instituciones promotoras una tendencia de solo destacar beneficios y no riesgos.

Es vital acompañar la difusión de la iluminación basada en LEDs con acciones para el fomento de una nueva cultura de la luz, que evite las tendencias al exceso tan arraigadas en la sociedad actual, de tal forma que pueda lograrse de manera efectiva un ahorro de recursos gracias a este tipo de iluminación, a la vez que se limite la contaminación lumínica. En esto los LEDs pueden jugar un papel importante si se combinan con adecuados sistemas de control para la regulación del flujo luminoso y adecuados sistemas ópticos para cada aplicación. Debido a las nuevas políticas trazadas por el Estado, el Partido y el Gobierno, para desarrollar en Cuba las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía, el país presenta unas condiciones muy favorables para el desarrollo de tecnologías como la iluminación basada en LEDs, que garantizan una sostenibilidad e independencia energética y provocan un impacto económico, político y social.

REFERENCIAS

- [1]. Jover, J. N. "La ciencia y la tecnología como procesos sociales: Lo que la educación científica no debería olvidar". Editorial Félix Varela. 1999. ISBN 9789592580534. Disponible en: <https://books.google.com/cu/books?id=HfpAQAACAAJ>
- [2]. Caballero, J. R. D. "Humanismo y Tecnología". Revista Cubana de Ingeniería, 2010, vol. 1, n. 2, p. 71-74. ISSN 2223-1781. ISSN 0304-3940. Disponible en: <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/22>
- [3]. Van Driel, W. D., *et al.* "Solid State Lighting Reliability". Springer International Publishing, 2018, vol. 3, part. 2. ISSN 2193-1801. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58175-0>
- [4]. Rossi, M. "Evaluation of Artificial Light with Respect to Human Health". En M. Rossi (Ed.), Circadian Lighting Design in the LED Era. Springer International Publishing, 2019, p. 57-100. ISBN 978-3-030-11087-1. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-11087-1_3
- [5]. Shaaban, K., *et al.* "Visible light communication for intelligent transportation systems: A review of the latest technologies". Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2021, vol. 8, n. 4, p. 483-492. ISSN 2589-0379. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.04.005>
- [6]. Paucek, I., *et al.* "LED Lighting Systems for Horticulture: Business Growth and Global Distribution". Sustainability. 2020, vol. 12, n. 18, e7516. ISSN 2071-1050. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12187516>
- [7]. Lee, S. il, *et al.* "Melatonin suppression and sleepiness in children exposed to blue-enriched white LED lighting at night". Physiological Reports. 2018, vol. 6, n. 24. ISSN 2665-9441. Disponible en: <https://doi.org/10.14814/phy2.13942>
- [8]. Brainard, G. C., *et al.* "Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor". Journal of Neuroscience, 2001, vol. 21, n. 16, p. 6405-6412. ISSN 0304-3940. Disponible en: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-16-06405.2001>
- [9]. Bohar, J., Fernandes, G. E., & Xu, J. "Spectral-Temporal LED Lighting Modules for Reproducing Daily and Seasonal Solar Circadian Rhythmicities". 2017 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP), p. 1-6. ISBN 978-1-5090-6517-2. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP.2017.7947047>
- [10]. Truscott, Z., *et al.* "The effect of on-shore light pollution on sea-turtle hatchlings commencing their off-shore swim". Wildlife Research. 2021, vol. 44, n. 2, p. 127-134. ISSN 1448-5494. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/WR16143>
- [11]. Caballero, J. R. D., & Rodríguez, E. R. "Tecnología, Sociedad y Futuro". Revista Cubana de Ingeniería. 2011, vol. 2, n. 1, p. 61-68. Disponible en: <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/42>
- [12]. Haddock, J. K., *et al.* "Responses of insectivorous bats and nocturnal insects to local changes in street light technology". Austral Ecology. 2019, vol. 44, n. 6, p. 1052-1064. ISSN 1442-9993. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/aec.12772>
- [13]. Ruperto, E. F., *et al.* "Developmental environment influences activity levels in a montane rodent, *Phyllotis xanthopygus*". Zoology. 2020, vol. 142, e125818. ISSN 0944-2006. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.zool.2020.125818>
- [14]. Haines, A., *et al.* "Short-lived climate pollutant mitigation and the Sustainable Development Goals". Nature Climate Change. 2017, vol. 7, p. 863-869. ISSN 1758-678X. Disponible en: <https://researchonline.lshtm.ac.uk/id/eprint/4646870/>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Diego de los Angeles Fernández Labrada: <https://orcid.org/0000-0002-4240-7699>

Conformación de la idea de la investigación. Recopilación de los datos necesarios. Redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final

Miriam Vilaragut Llanes: <https://orcid.org/0000-0002-5453-1136>

Revisión de la idea del artículo. Recopilación de los datos necesarios. Redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final

Eloísa Casas Morell: <https://orcid.org/0000-0003-4739-9955>

Revisión de la idea del artículo. Redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final

Ernesto Alejandro Guerra Blanco: <https://orcid.org/0000-0002-9357-7807>

Revisión de la idea del artículo. Redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final

Miguel Castro Fernández: <https://orcid.org/0000-0002-3983-469X>

Revisión de la idea del artículo. Redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final