Vol.10 No.3 (2026): Journal Scientific MQRInvestigar ISSN: 2588–0659
https://doi.org/10.56048/MQR.2026.e553

Ultraviolet radiation and other photobiological factors emitted by LED luminaires in enclosed workplaces and their relationship with visual fatigue symptoms in workers: a systematic review

Radiación ultravioleta y otros factores fotobiológicos emitidos por luminarias LED en espacios laborales cerrados y su relación con síntomas de fatiga visual en trabajadores: revisión sistemática

Autores:

Quintero-Orellana, Marco Antonio*
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Unidad Académica de Posgrado
Maestrante en Salud y Seguridad Ocupacional con mención en Prevención de Riesgos Laborales
Cuenca – Ecuador

maquinteroo22@est.ucacue.edu.ec
https://orcid.org/0009-0004-0265-649X

Campos-Murillo, Nathalie
UNIVERSIDADCATÓLICA DE CUENCA
Magister en Biotecnologia Molecular
Docente
Cuenca–Ecuador

ncampos@ucacue.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-2707-3376

Fechas de recepción: 30-JUL-2026 aceptación: 05-AGOS-2026 publicación: 30-SEP-2026
*Autor de correspondencia: Quintero-Orellana, Marco Antonio
https://orcid.org/0000-0002-8695-5005
http://mqrinvestigar.com/

Resumen

Introducción: La incorporación generalizada de luminarias de diodos emisores de luz (LED) en oficinas, industrias, centros sanitarios y otros espacios laborales cerrados ha mejorado la eficiencia energética; sin embargo, persisten interrogantes sobre su calidad fotobiológica y su posible contribución a la fatiga visual. Objetivo: Analizar sistemáticamente la evidencia disponible acerca de la radiación ultravioleta y otros factores asociados a la iluminación LED —luz azul, modulación temporal, temperatura de color, deslumbramiento e iluminancia— y su relación con síntomas de fatiga visual en trabajadores. Material y métodos: Se plantea una revisión sistemática conforme a PRISMA 2020. La pregunta se estructuró mediante PECO. Se buscarán estudios publicados entre enero de 2020 y julio de 2026 en Scopus, Web of Science, PubMed/MEDLINE, ScienceDirect, IEEE Xplore, SciELO y LILACS. Se incluirán estudios ocupacionales realizados en trabajadores adultos de espacios cerrados que evalúen luminarias LED y reporten síntomas visuales. Dos revisores efectuarán de manera independiente el cribado, la extracción de datos y la evaluación del riesgo de sesgo mediante herramientas del Joanna Briggs Institute. Resultados esperados: Se prevé que la emisión ultravioleta de luminarias LED de iluminación general certificadas sea reducida, mientras que la fatiga visual se relacione con mayor consistencia con factores multicausales, especialmente deslumbramiento, iluminancia inadecuada, modulación temporal, exposición prolongada a pantallas y condiciones ergonómicas. Conclusión: La evaluación ocupacional no debe limitarse a medir lux ni atribuir la sintomatología exclusivamente a la radiación ultravioleta; debe integrar parámetros espectrales, temporales y ergonómicos.

Palabras clave: iluminación led, radiación ultravioleta, riesgo fotobiológico, fatiga visual, astenopia, salud ocupacional

Abstract

Introduction: The widespread use of light-emitting diode (LED) luminaires in offices, industries, healthcare facilities, and other enclosed workplaces has improved energy efficiency; however, questions remain regarding their photobiological quality and possible contribution to visual fatigue. Objective: To systematically analyze the available evidence on ultraviolet radiation and other LED-lighting-related factors—blue light, temporal light modulation, correlated color temperature, glare, and illuminance—and their association with visual fatigue symptoms among workers. Materials and methods: A systematic review is proposed in accordance with PRISMA 2020. The research question was structured using the PECO framework. Studies published from January 2020 to July 2026 will be searched in Scopus, Web of Science, PubMed/MEDLINE, ScienceDirect, IEEE Xplore, SciELO, and LILACS. Occupational studies involving adult workers in enclosed workplaces, assessing LED luminaires and reporting visual symptoms, will be included. Two reviewers will independently conduct screening, data extraction, and risk-of-bias assessment using Joanna Briggs Institute tools. Expected results: Ultraviolet emission from certified general-lighting LED luminaires is expected to be low, whereas visual fatigue is likely to show a more consistent association with multifactorial conditions, particularly glare, inadequate illuminance, temporal light modulation, prolonged screen exposure, and ergonomic factors. Conclusion: Occupational assessment should not be limited to illuminance measurements or attribute symptoms exclusively to ultraviolet radiation; spectral, temporal, and ergonomic parameters should be integrated.

Keywords: led lighting, ultraviolet radiation, photobiological risk, visual fatigue, asthenopia, occupational health

Introducción

La transición masiva hacia la tecnología LED en entornos laborales ha priorizado la eficiencia energética, postergando el análisis de la calidad fotobiológica y su impacto en la salud ocupacional. Esta investigación analiza la relación teórica entre los factores de riesgo intrínsecos de las luminarias LED —radiación UV, luz azul de alta energía y modulación temporal (flicker)— y la prevalencia de fatiga visual (astenopia) en trabajadores de oficina.

A diferencia de las evaluaciones convencionales centradas únicamente en la cantidad de luz (lux), este estudio adopta una metodología cuantitativa de alcance documental y descriptivo. Mediante una revisión sistemática de literatura científica reciente y el análisis técnico de especificaciones de fabricantes bajo la norma IEC 62471, se triangulan evidencias clínicas con parámetros de ingeniería lumínica. El objetivo es determinar la correlación entre la composición espectral, la estabilidad de los controladores electrónicos y los síntomas reportados en la bibliografía médica. Los resultados pretenden demostrar que factores como la temperatura de color elevada y el parpadeo actúan como agentes estresores críticos, aportando un marco de referencia para optimizar los protocolos de vigilancia de la salud visual y la gestión de adquisiciones técnicas.

La transición global hacia la tecnología LED (Light Emitting Diode) en entornos laborales cerrados ha sido impulsada predominantemente por criterios de eficiencia energética y sostenibilidad económica. No obstante, esta migración masiva ha dejado en un segundo plano la calidad fotobiológica de la iluminación y su impacto en la salud del trabajador. A pesar de que los proyectos de iluminación suelen cumplir con los niveles de iluminancia nominal (medidos en lux) exigidos por normativas locales e internacionales, existe una creciente discrepancia entre el cumplimiento normativo y el bienestar subjetivo del personal. La literatura científica contemporánea reporta una persistencia de síntomas asociados a la astenopia (fatiga visual), cefaleas y deslumbramiento, lo que sugiere que los parámetros de evaluación actuales son insuficientes para capturar la complejidad del riesgo LED.

El problema radica en factores intrínsecos de la tecnología que no son contemplados en las inspecciones de seguridad y salud tradicionales:

Emisión Espectral: La presencia de un "pico" de luz azul de alta energía (típicamente entre los 400nm y 450nm) y la posible emisión de radiación UV residual en luminarias de baja calidad o por degradación de recubrimientos de fósforo.

Modulación Temporal (Flicker): El parpadeo imperceptible derivado de controladores (drivers) electrónicos deficientes, que somete al sistema visual a un esfuerzo de acomodación constante.

Esta situación genera un vacío en la vigilancia de la salud ocupacional: mientras la normativa se enfoca en la cantidad de luz, la patología visual parece derivar de la calidad espectral y

temporal. Ante la imposibilidad de realizar mediciones in situ en el presente estudio, surge la necesidad de realizar una síntesis crítica de la evidencia científica para responder:

¿Qué consenso establece la literatura científica actual sobre el riesgo fotobiológico de la tecnología LED y cómo se correlacionan teóricamente sus emisiones (UV y luz azul) con la prevalencia de fatiga visual en trabajadores de espacios cerrados?

La iluminación constituye un componente esencial del ambiente de trabajo porque condiciona la visibilidad, el desempeño, la percepción del espacio, la seguridad y el bienestar de las personas. En las últimas décadas, las luminarias LED han sustituido progresivamente a fuentes incandescentes y fluorescentes debido a su eficiencia energética, larga vida útil, menor generación de calor y posibilidades de control. Esta transición, aunque favorable desde la perspectiva energética, ha generado nuevas preguntas en higiene ocupacional relacionadas con la composición espectral, la estabilidad temporal del flujo luminoso y el confort visual durante jornadas prolongadas.

Las luminarias LED empleadas para iluminación general producen principalmente radiación visible. Su funcionamiento se basa en semiconductores que emiten luz en determinadas bandas y, en muchos diseños, en recubrimientos de fósforo que convierten parte de la emisión primaria en un espectro más amplio. En condiciones normales de fabricación y uso, la emisión ultravioleta de las luminarias LED blancas suele ser baja; no obstante, la evaluación de la seguridad no debe apoyarse únicamente en la denominación comercial del producto. La norma IEC 62471 establece principios para valorar los peligros fotobiológicos de lámparas y sistemas de lámparas en un amplio intervalo espectral, mientras que las partes más recientes de la familia IEC 62471 distinguen entre productos destinados a emitir radiación ultravioleta y fuentes de iluminación predominantemente visible.

Desde la perspectiva clínica y ergonómica, la fatiga visual o astenopia constituye un síndrome de naturaleza multifactorial caracterizado por la aparición o intensificación de síntomas oculares, visuales y extraoculares después de realizar actividades que exigen atención visual sostenida. Entre las manifestaciones más frecuentes se encuentran el cansancio ocular, ardor, prurito, sensación de cuerpo extraño, enrojecimiento, sequedad, lagrimeo, visión borrosa, dificultad para reenfocar, fotofobia, dolor ocular y cefalea. También pueden presentarse síntomas musculoesqueléticos, como rigidez cervical, dolor de hombros y molestias dorsales, especialmente cuando el trabajador adopta posturas compensatorias para mejorar la visualización de pantallas, documentos o superficies de trabajo (Kaur et al., 2022; Mylona et al., 2023; Pucker et al., 2024). Estas manifestaciones pueden afectar la concentración, el rendimiento y la tolerancia a las tareas de alta demanda visual.

La sintomatología puede agruparse en dos categorías principales. La primera comprende los síntomas internos, relacionados con el sistema acomodativo y binocular, entre los que se encuentran visión borrosa, dificultad de enfoque, diplopía, dolor periocular y cefalea. La segunda incluye síntomas externos vinculados con alteraciones de la superficie ocular, como sequedad, ardor, irritación, lagrimeo y sensación de cuerpo extraño (Rosenfield, 2011;

Sheppard & Wolffsohn, 2018). Esta diferenciación es importante porque permite reconocer que la fatiga visual no responde a un único mecanismo fisiológico, sino a la interacción entre la acomodación, la convergencia, la película lagrimal, el parpadeo y las condiciones ambientales del puesto de trabajo.

La realización prolongada de tareas de visión próxima exige mantener la acomodación y la convergencia durante extensos periodos. Cuando la distancia de observación es reducida, el tamaño de los caracteres es insuficiente o existen defectos refractivos no corregidos, el sistema visual debe efectuar un esfuerzo adicional para conservar la nitidez de la imagen. Esta sobrecarga puede ocasionar visión borrosa, dificultad para cambiar el enfoque entre objetos próximos y lejanos, pesadez ocular y reducción de la eficiencia visual. Los errores refractivos no corregidos, especialmente el astigmatismo, pueden incrementar significativamente la sintomatología durante el trabajo con pantallas (Rosenfield, 2011; Rosenfield et al., 2012).

Otro mecanismo relevante es la alteración de la superficie ocular. Durante el trabajo prolongado con dispositivos digitales suele disminuir la frecuencia de parpadeo y aumentar la proporción de parpadeos incompletos. Como resultado, se altera la distribución uniforme de la película lagrimal y aumenta su evaporación, lo que favorece la sequedad, la irritación, la sensación de arenilla, el ardor y la visión fluctuante. Estas molestias pueden intensificarse cuando el monitor se encuentra demasiado elevado, debido a que aumenta la apertura palpebral y la superficie ocular expuesta al ambiente.

Las condiciones ambientales del espacio laboral también influyen en la aparición de síntomas. La baja humedad relativa, las corrientes de aire, los sistemas de climatización, el polvo y las temperaturas elevadas pueden acelerar la evaporación lagrimal. Por tanto, las molestias oculares no deben atribuirse exclusivamente al tipo de pantalla o luminaria, sino a la interacción entre factores visuales, ambientales, ergonómicos y personales.

Desde el enfoque ergonómico, la iluminación insuficiente obliga al trabajador a realizar un mayor esfuerzo para distinguir detalles, mientras que una iluminación excesiva o mal distribuida puede provocar contrastes intensos, reflejos y deslumbramiento. El deslumbramiento directo ocurre cuando una fuente de alta luminancia se encuentra dentro del campo visual; el indirecto se produce cuando la luz se refleja sobre pantallas, superficies brillantes o documentos. Ambos pueden reducir el contraste, inducir entrecerramiento ocular, generar cambios posturales y aumentar la aparición de cefalea y cansancio visual. Por ello, el cumplimiento de un valor nominal de iluminancia no garantiza por sí mismo el confort visual, pues deben considerarse además la distribución de luminancias, la uniformidad, los reflejos y la orientación de las luminarias.

La duración de la exposición constituye otro elemento determinante. Las actividades continuas de visión próxima, sin cambios de enfoque ni pausas, pueden producir una acumulación progresiva de molestias durante la jornada laboral. Las pausas visuales favorecen la relajación acomodativa, estimulan el parpadeo y contribuyen a recuperar la

estabilidad de la película lagrimal. La aplicación de la regla 20-20-20 ha mostrado utilidad para disminuir los síntomas de fatiga visual y ojo seco, aunque su efectividad depende de la adherencia del trabajador y de las características de la tarea (Talens-Estarelles et al., 2023).

En relación con las luminarias LED, es indispensable diferenciar la radiación ultravioleta de la luz azul. La radiación ultravioleta se localiza fuera del espectro visible, mientras que la luz azul forma parte de la radiación visible de longitud de onda corta. Esta distinción es relevante porque las luminarias LED blancas de iluminación general no deben equipararse con productos UV-LED diseñados específicamente para desinfección, curado, fototerapia u otras aplicaciones.

La norma IEC 62471 establece los principios generales para evaluar la seguridad fotobiológica de lámparas y sistemas de iluminación. De manera más específica, la IEC 62471-7:2023 se aplica a fuentes y luminarias que emiten predominantemente radiación visible entre 380 y 780 nm, mientras que la IEC 62471-6:2022 regula productos cuya función principal es la emisión de radiación ultravioleta, incluidos los productos UV-LED (International Electrotechnical Commission [IEC], 2022, 2023).

Por consiguiente, atribuir la fatiga visual exclusivamente a la radiación ultravioleta residual emitida por luminarias LED puede conducir a interpretaciones simplificadas. Una asociación entre trabajo bajo iluminación LED y presencia de astenopia no demuestra necesariamente que la radiación UV sea el agente causal. Para establecer dicha relación se requieren mediciones espectrorradiométricas, estimaciones de irradiancia, análisis de longitud de onda, tiempo de exposición, distancia a la fuente y clasificación del grupo de riesgo.

La luz azul también debe analizarse con cautela. Aunque exposiciones experimentales intensas pueden producir efectos fotobiológicos, actualmente no existe evidencia suficiente para afirmar que las pantallas y luminarias LED utilizadas en condiciones normales ocasionen daño retiniano en seres humanos (Cougnard-Grégoire et al., 2023). Además, las lentes con filtro de luz azul no han demostrado una reducción clínicamente importante y consistente de la fatiga ocular en comparación con lentes convencionales, lo cual sugiere que el malestar depende de múltiples factores y no exclusivamente de la composición espectral de la luz (Singh et al., 2023).

La temperatura de color correlacionada tampoco constituye por sí sola una medida directa del riesgo fotobiológico. Dos luminarias con la misma temperatura de color pueden presentar distribuciones espectrales diferentes. Por ello, su evaluación debe complementarse con información sobre la potencia espectral, la radiancia, la iluminancia, el ángulo de observación, la distancia y la duración de la exposición.

Otro factor relevante es la modulación temporal de la luz o flicker. Este fenómeno se produce cuando la salida luminosa fluctúa debido a las características de la corriente eléctrica, los controladores electrónicos o los sistemas de regulación. Aunque algunas fluctuaciones no sean percibidas conscientemente, pueden producir molestias visuales, cefalea, distracción o

reducción del rendimiento en personas sensibles. El estándar IEEE 1789-2015 describe posibles efectos adversos asociados con determinadas frecuencias y profundidades de modulación y formula recomendaciones para reducir los riesgos relacionados con el parpadeo de luminarias LED (Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 2015).

La evaluación del flicker no debe limitarse a identificar su frecuencia. También deben considerarse la profundidad de modulación, la forma de onda, la luminancia media y el tipo de tarea visual. Dos luminarias con una frecuencia similar pueden generar efectos distintos si difieren en el porcentaje de modulación o en la estabilidad de sus controladores.

El índice de reproducción cromática, la uniformidad lumínica y la distribución espacial de las fuentes también pueden influir en la comodidad visual. Un índice cromático bajo puede dificultar la discriminación de colores y detalles, mientras que diferencias excesivas entre zonas iluminadas y oscuras obligan al sistema visual a realizar adaptaciones frecuentes. De igual forma, el contraste elevado entre una pantalla luminosa y un entorno oscuro puede aumentar el esfuerzo perceptivo.

La postura está estrechamente relacionada con la carga visual. Cuando existen reflejos, caracteres pequeños o una distancia inadecuada, el trabajador puede acercarse a la pantalla, inclinar el tronco o adelantar la cabeza. Estas posturas explican la coexistencia de síntomas visuales con dolor cervical, tensión de hombros y molestias dorsales, por lo que la fatiga visual debe abordarse conjuntamente con la ergonomía del puesto (Kaur et al., 2022; Pucker et al., 2024).

También deben controlarse variables individuales como la edad, el uso de lentes de contacto, los defectos refractivos, el ojo seco, las alteraciones acomodativas, los antecedentes de migraña, los medicamentos y las enfermedades sistémicas. Estos factores pueden modificar el umbral de aparición de los síntomas y actuar como variables de confusión en los estudios sobre iluminación LED.

En consecuencia, la evaluación ocupacional debería incorporar cuatro dimensiones. La primera corresponde a la seguridad fotobiológica, que incluye la distribución espectral y la clasificación del grupo de riesgo. La segunda es la calidad temporal, determinada por la frecuencia y profundidad de la modulación. La tercera comprende los aspectos fotométricos y ergonómicos, como iluminancia, luminancia, uniformidad, deslumbramiento, reflejos y ubicación de las fuentes. La cuarta dimensión corresponde a la organización del trabajo, especialmente duración de las tareas, tiempo frente a pantallas, pausas y posibilidad de control individual de la iluminación.

El protocolo que fundamenta este manuscrito propone analizar la relación entre el perfil de riesgo fotobiológico de la tecnología LED y la prevalencia de síntomas de fatiga visual en trabajadores de espacios cerrados. Por ello, la revisión sistemática deberá diferenciar los estudios que realizaron mediciones objetivas de radiación ultravioleta de aquellos que únicamente evaluaron iluminación LED, temperatura de color, parpadeo o percepción

subjetiva. Esta clasificación permitirá establecer si existe una exposición UV ocupacional relevante o si la sintomatología muestra una asociación más consistente con otros factores lumínicos y ergonómicos.

La calidad de la evidencia también dependerá de los instrumentos utilizados. Los cuestionarios CVS-Q y CVSS17 se encuentran entre las herramientas validadas más empleadas para identificar fatiga visual digital (Pucker et al., 2024). Sin embargo, los estudios que combinen cuestionarios con pruebas de película lagrimal, frecuencia de parpadeo, evaluación acomodativa y mediciones objetivas de iluminación proporcionarán resultados más sólidos que aquellos sustentados exclusivamente en percepciones subjetivas.

Problema de investigación

A pesar del uso generalizado de luminarias LED en entornos laborales, las evaluaciones rutinarias se concentran principalmente en los niveles de iluminancia expresados en lux. Este enfoque puede ser insuficiente porque no describe la distribución espectral, la radiancia, la presencia de modulación temporal, el deslumbramiento ni la interacción entre la iluminación ambiental y las pantallas. En consecuencia, persiste incertidumbre sobre el verdadero papel de la radiación ultravioleta residual y de otros parámetros de calidad lumínica en la aparición de síntomas de fatiga visual.

Pregunta de investigación

¿Qué evidencia científica existe sobre la exposición a radiación ultravioleta y otros factores fotobiológicos producidos por luminarias LED en espacios laborales cerrados, y cuál es su relación con la presencia de síntomas de fatiga visual en trabajadores?

Objetivo general

Analizar sistemáticamente la evidencia científica disponible sobre la radiación ultravioleta y otros factores de riesgo fotobiológico emitidos por luminarias LED en espacios laborales cerrados, determinando su relación con síntomas de fatiga visual en trabajadores.

Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros espectrales, temporales y ergonómicos de las luminarias LED evaluados en la literatura científica.
- Identificar los síntomas de fatiga visual reportados en trabajadores expuestos a iluminación LED en espacios cerrados.
- Comparar los hallazgos según tipo de espacio laboral, duración de la exposición, características de las luminarias e instrumentos de medición.
- Evaluar la calidad metodológica y el riesgo de sesgo de los estudios incluidos.
- Proponer recomendaciones preventivas para la selección, instalación, mantenimiento y vigilancia de la iluminación LED en los lugares de trabajo.

Material y métodos

Diseño

Se desarrollará una revisión sistemática de literatura con enfoque descriptivo y analítico. La planificación, ejecución y presentación se ajustarán a la declaración PRISMA 2020, que incluye una lista de verificación de 27 ítems y un diagrama de flujo para documentar la identificación, el cribado, la elegibilidad y la inclusión de estudios. Debido a la probable heterogeneidad de diseños, exposiciones e instrumentos, se priorizará una síntesis narrativa estructurada; un metaanálisis solo se considerará cuando exista comparabilidad clínica y metodológica suficiente.

Incluya los instrumentos y herramientas que utilizó. Como encuestas, cuestionarios, evaluaciones, estadística y gráficos.

Tabla 1
Estructuración de la pregunta mediante PECO

Componente	Definición operacional
Población (P)	Trabajadores adultos que desarrollan actividades en oficinas, industrias, establecimientos sanitarios, centros educativos, comercios u otros espacios laborales cerrados.
Exposición (E)	Iluminación ambiental mediante luminarias LED y parámetros asociados: radiación ultravioleta residual, radiación óptica visible de longitud de onda corta, temperatura de color, modulación temporal, deslumbramiento e iluminancia.
Comparación (C)	Iluminación natural, fuentes tradicionales, luminarias LED con diferentes características o grupos con menor nivel de exposición. No será obligatoria en estudios descriptivos.
Resultados (O)	Fatiga visual, astenopia, cansancio ocular, sequedad, ardor, irritación, lagrimeo, visión borrosa, dificultad de enfoque, fotofobia, cefalea y malestar visual.

Fuente: Elaboración propia

Fuentes de información y periodo de búsqueda

La búsqueda comprenderá Scopus, Web of Science, PubMed/MEDLINE, ScienceDirect, IEEE Xplore, SciELO y LILACS. Google Scholar se utilizará únicamente como recurso complementario para localizar literatura gris, referencias citadas y documentos técnicos. También se consultarán normas y guías de la International Electrotechnical Commission, Commission Internationale de l'Éclairage, International Organization for Standardization, Institute of Electrical and Electronics Engineers y organismos de salud ocupacional. El periodo de publicación será enero de 2020 a julio de 2026; se admitirán normas anteriores cuando continúen vigentes o constituyan el fundamento técnico de la evaluación.

Estrategia de búsqueda

Los términos se seleccionarán mediante descriptores MeSH, DeCS y palabras libres en español e inglés. La ecuación general será adaptada a cada base de datos:

("LED lighting" OR "LED luminaires" OR "light-emitting diode" OR "artificial lighting") AND ("ultraviolet radiation" OR "ultraviolet emission" OR "optical radiation" OR "photobiological risk" OR "blue light" OR flicker OR "temporal light modulation" OR glare OR "correlated color temperature") AND ("visual fatigue" OR asthenopia OR "eye strain" OR "visual discomfort" OR "ocular symptoms" OR "dry eye" OR headache OR "blurred vision") AND (worker OR workplace OR occupational OR office OR indoor)*

Tabla 2
Criterios de inclusión y exclusión

Dimensión	Inclusión	Exclusión
Periodo	Publicaciones entre enero de 2020 y julio de 2026; normas fundamentales vigentes sin restricción estricta de fecha.	Artículos fuera del periodo sin justificación técnica o histórica.
Población	Trabajadores adultos expuestos en espacios laborales cerrados.	Niños, población general sin contexto ocupacional, animales o estudios exclusivamente *in vitro*.
Exposición	Luminarias LED de iluminación ambiental y parámetros espectrales, temporales o ergonómicos.	Radiación solar, soldadura, cabinas de bronceado, fototerapia, lámparas germicidas o productos diseñados intencionalmente para emitir UV.
Resultados	Fatiga visual, astenopia o síntomas oculares, visuales o cefálicos relacionados.	Estudios sin resultados visuales u oculares.
Diseño	Estudios observacionales, experimentales, cuasiexperimentales, de campo o técnicos con medición pertinente.	Editoriales, cartas, opiniones, publicidad comercial y resúmenes sin datos completos.
Contexto	Oficinas, industrias, hospitales, centros educativos, laboratorios, comercios y otros interiores laborales.	Estudios exclusivamente en exteriores o sin relación con el trabajo.
Idioma	Español, inglés o portugués.	Otros idiomas sin traducción accesible.
Información	Texto completo y descripción suficiente de población, exposición y resultados.	Duplicados, texto no recuperable o información insuficiente para extracción.

Fuente: Elaboración propia

Proceso de selección PRISMA

Los registros recuperados serán exportados a un gestor bibliográfico y se eliminarán duplicados por coincidencia de título, autor, año y DOI. Dos revisores examinarán independientemente títulos y resúmenes. Los textos potencialmente pertinentes serán evaluados a texto completo. Las discrepancias se resolverán por consenso y, si persisten, mediante un tercer revisor. En la fase de elegibilidad se registrará una razón específica para cada exclusión. Los números finales se incorporarán al diagrama PRISMA 2020.

Nota metodológica: debido a que este documento corresponde a la redacción científica derivada del protocolo, los valores n del diagrama PRISMA deben completarse únicamente después de ejecutar la búsqueda definitiva. No deben inventarse registros ni estudios incluidos.

Extracción de datos

Se diseñará una matriz que incluya autor, año, país, diseño, tamaño muestral, ocupación, características del espacio, tipo de luminaria, temperatura de color, iluminancia, índice de reproducción cromática, deslumbramiento, parámetros de flicker, emisión espectral, tiempo de exposición, instrumento de evaluación visual, prevalencia de síntomas, medidas de asociación, factores de confusión, resultados y limitaciones.

Evaluación de calidad y riesgo de sesgo

La calidad de los estudios observacionales y cuasiexperimentales se evaluará con las listas de verificación del Joanna Briggs Institute correspondientes a cada diseño. Para ensayos aleatorizados se utilizará RoB 2 y, cuando proceda, ROBINS-I para intervenciones no aleatorizadas. Se examinarán selección de participantes, validez de la medición de la exposición, validez del instrumento de síntomas, control de confusores, análisis estadístico y coherencia de las conclusiones.

Síntesis de datos

La síntesis narrativa se organizará en cuatro ejes: a) radiación ultravioleta y clasificación de riesgo fotobiológico; b) luz azul, distribución espectral y temperatura de color; c) modulación temporal, deslumbramiento e iluminancia; y d) prevalencia y tipos de síntomas visuales. Se considerará metaanálisis cuando al menos tres estudios presenten poblaciones, exposiciones y resultados comparables. Para variables dicotómicas se emplearán odds ratios o riesgos relativos; para variables continuas, diferencias de medias o diferencias de medias estandarizadas. La heterogeneidad se valorará mediante I^2.

Resultados

Resultados previstos de la selección

La búsqueda final deberá informar el número de registros identificados en cada base, los duplicados eliminados, los artículos excluidos por título y resumen, los textos completos evaluados y los estudios incluidos. Las razones de exclusión más probables serán: ausencia de población laboral, evaluación exclusiva de pantallas, exposición diferente de luminarias LED, falta de síntomas visuales y datos técnicos insuficientes.

Síntesis científica preliminar

La evidencia técnica disponible indica que las luminarias LED blancas destinadas a iluminación general emiten predominantemente radiación visible. Por ello, el análisis debe diferenciar estas fuentes de los productos UV-LED diseñados para desinfección, curado, fototerapia u otros usos específicos. La clasificación de seguridad fotobiológica debe realizarse con criterios normalizados y no mediante inferencias basadas únicamente en la temperatura de color o en la percepción visual.

La fatiga visual en espacios laborales cerrados se presenta como un fenómeno multicausal. El deslumbramiento directo e indirecto, la distribución no uniforme, los niveles inadecuados de iluminancia, la baja posibilidad de control individual y la interacción con tareas de pantalla pueden incrementar la incomodidad ocular. En este sentido, una luminaria puede cumplir un nivel nominal de lux y, aun así, generar malestar si se encuentra mal ubicada o presenta luminancia excesiva dentro del campo visual.

La modulación temporal merece una evaluación específica. Los controladores electrónicos de baja calidad pueden producir fluctuaciones del flujo luminoso. Aunque estas no siempre sean perceptibles como parpadeo, algunas personas pueden experimentar cefalea, cansancio, dificultad de concentración o efectos estroboscópicos. Por tanto, la frecuencia por sí sola no describe completamente el riesgo; deben considerarse también la profundidad de modulación y métricas técnicas reconocidas.

La luz azul forma parte del espectro visible y no debe confundirse con radiación ultravioleta. En condiciones de iluminación general, su contribución a la fatiga visual debe analizarse junto con la intensidad, el tiempo de exposición, la adaptación, la edad, el uso simultáneo de pantallas y la existencia de deslumbramiento. La evidencia sobre filtros selectivos de luz azul no demuestra de forma consistente una reducción clínicamente importante de la fatiga ocular, lo que respalda un enfoque preventivo centrado en el sistema de iluminación y la ergonomía integral.

Los síntomas más relevantes para la extracción serán cansancio ocular, sequedad, ardor, irritación, visión borrosa, dificultad de enfoque, fotofobia, lagrimeo y cefalea. Se distinguirán los síntomas vinculados con la superficie ocular de aquellos relacionados con acomodación, convergencia y procesamiento visual. También se analizará si los estudios utilizan

instrumentos validados y si controlan factores como defectos refractivos, edad, exposición a pantallas, pausas y condiciones ambientales.

Discusión

La principal contribución esperada de esta revisión consiste en establecer una separación conceptual entre radiación ultravioleta, luz azul visible y modulación temporal de la luz. Esta distinción es indispensable porque una asociación entre el trabajo bajo luminarias LED y la presencia de fatiga visual no demuestra, por sí misma, que la radiación UV sea el agente causal. La evidencia disponible indica que las fuentes LED de luz blanca destinadas a iluminación general, cuando se utilizan en condiciones normales, no presentan evidencia de efectos adversos directos atribuibles a su radiación óptica; asimismo, la CIE señala que el denominado blue light hazard debe reservarse para el riesgo fotoquímico retiniano y no utilizarse como explicación general de síntomas inespecíficos de malestar visual (CIE, 2019; SCHEER, 2018). En consecuencia, factores como el deslumbramiento, la luminancia, la distribución espacial de la luz, la modulación temporal y la interacción con pantallas constituyen variables que deben considerarse al analizar la aparición de fatiga visual (IEEE, 2015; ISO/CIE, 2025).

Las evaluaciones tradicionales centradas exclusivamente en la iluminancia son necesarias, pero resultan insuficientes para caracterizar integralmente la calidad del ambiente luminoso. El luxómetro proporciona una medición fotométrica de la iluminancia, pero esta variable por sí sola no describe completamente otros aspectos relevantes, como la distribución de luminancias, el deslumbramiento, las características espectrales, la temperatura de color correlacionada o la modulación temporal. La evaluación ergonómica de puestos con pantallas debe considerar conjuntamente iluminancia, luminancia, dirección de la luz, deslumbramiento, temperatura de color, reproducción cromática y flicker (Peña-García et al., 2015). Asimismo, la norma ISO/CIE 8995-1:2025 establece requisitos relacionados con la cantidad y calidad de la iluminación en lugares de trabajo interiores, orientados al confort visual, desempeño y seguridad de los trabajadores (ISO/CIE, 2025). Por tanto, una estrategia de higiene ocupacional debería complementar las mediciones de iluminancia y uniformidad con la evaluación del deslumbramiento, características espectrales, documentación de seguridad fotobiológica y parámetros relacionados con la modulación temporal.

Desde la perspectiva preventiva, la selección de luminarias debería priorizar equipos con documentación técnica verificable y características compatibles con las exigencias visuales de la actividad. La seguridad fotobiológica de lámparas y sistemas de lámparas puede evaluarse mediante los criterios establecidos en IEC 62471/CIE S 009, mientras que las recomendaciones sobre modulación de corriente y flicker en sistemas LED han sido abordadas específicamente por IEEE 1789 (CIE/IEC, 2006; IEEE, 2015). La evidencia experimental también indica que diferentes combinaciones de iluminancia y temperatura de color pueden modificar la respuesta de fatiga durante el trabajo con computadora, lo que refuerza la necesidad de considerar la iluminación como un sistema multidimensional y no únicamente en términos de lux (Lan et al., 2022).

También resulta pertinente proporcionar cierto grado de control individual de la iluminación, aprovechar adecuadamente la luz natural evitando reflejos y deslumbramiento, mantener las luminarias en condiciones apropiadas y organizar los puestos de manera que las fuentes de elevada luminancia no se encuentren directamente dentro del campo visual. La versión vigente ISO/CIE 8995-1:2025 reconoce expresamente que la iluminación de los espacios laborales puede provenir de luz natural, iluminación eléctrica o una combinación de ambas, y establece criterios dirigidos al confort y desempeño visual.

La vigilancia de la salud debe considerar, además, que la sintomatología visual puede tener un origen multifactorial y no derivar exclusivamente del sistema de iluminación. La exposición prolongada a pantallas, las alteraciones de la película lagrimal, los defectos refractivos no corregidos, las demandas acomodativas y vergenciales, las condiciones ergonómicas y la reducción o incompletitud del parpadeo pueden contribuir al desarrollo de fatiga visual digital. Una revisión reciente que integró 128 estudios identificó precisamente la interacción entre superficie ocular, acomodación, ergonomía, características de los dispositivos y carga cognitiva como mecanismos relevantes en la fatiga visual digital (Gantz & Rosenfield, 2026).

En este contexto, las pausas visuales constituyen una medida preventiva complementaria. Talens-Estarelles et al. (2023) observaron que la aplicación de recordatorios basados en la regla 20-20-20 produjo una disminución significativa de los síntomas de fatiga visual digital y ojo seco en usuarios sintomáticos de computadoras, aunque los cambios objetivos en parámetros de superficie ocular fueron limitados. Por ello, los programas de salud ocupacional deberían integrar la evaluación clínica y optométrica cuando corresponda, la ergonomía del puesto, la educación visual, las pausas durante el trabajo con pantallas y el control técnico de las condiciones de iluminación.

La modulación temporal de la luz merece especial consideración. Los sistemas LED pueden presentar variaciones temporales de la salida luminosa asociadas a las características de los controladores electrónicos, y determinados patrones de flicker se han relacionado con malestar visual y alteraciones del rendimiento. IEEE 1789 establece recomendaciones específicas sobre las frecuencias y profundidades de modulación utilizadas en iluminación LED con el propósito de reducir posibles efectos adversos (IEEE, 2015). Experimentalmente, también se ha observado que determinadas condiciones de flicker LED pueden reducir la velocidad de lectura y aumentar el malestar en personas con sensibilidad visual (Wilkins et al., 2024). Esto justifica incorporar parámetros de modulación temporal en la caracterización de la exposición, especialmente cuando se investigan síntomas que no pueden explicarse únicamente mediante la iluminancia.

Entre las limitaciones previsibles de la revisión se encuentran la heterogeneidad en las definiciones y métodos de medición de la fatiga visual, la coexistencia de factores relacionados con pantallas e iluminación ambiental, las diferencias entre diseños experimentales y observacionales y la limitada comparabilidad entre métricas subjetivas y objetivas de fatiga. Incluso algunos indicadores empleados como medidas objetivas, como la frecuencia crítica de fusión del parpadeo (critical flicker-fusion frequency), presentan limitaciones en su correlación con los síntomas subjetivos de fatiga visual (Singh et al.,

2023). Estas características pueden restringir la inferencia causal y justificar una síntesis narrativa estructurada cuando la heterogeneidad metodológica impida realizar un metaanálisis válido.

Implicaciones prácticas

- Verificar que las luminarias destinadas a iluminación general dispongan de documentación técnica y de seguridad fotobiológica conforme a estándares reconocidos, evitando confundirlas con fuentes UV-LED diseñadas específicamente para emitir radiación ultravioleta (CIE/IEC, 2006; CIE, 2019).
- Evaluar conjuntamente iluminancia, uniformidad, distribución de luminancias, deslumbramiento, reflejos y ubicación de las fuentes respecto del campo visual, siguiendo criterios actualizados para iluminación de lugares de trabajo interiores (ISO/CIE, 2025).
- Considerar la modulación temporal de la luz y las características de los controladores LED, dado que el flicker puede constituir un factor adicional de malestar visual (IEEE, 2015; Wilkins et al., 2024).
- Seleccionar niveles de iluminación y características de las fuentes compatibles con la tarea visual y las necesidades de los trabajadores, evitando asumir que una determinada temperatura de color constituye por sí sola un indicador de riesgo fotobiológico (CIE, 2019; ISO/CIE, 2025).
- Implementar pausas visuales, adecuación ergonómica de las pantallas, control del deslumbramiento y vigilancia de síntomas visuales persistentes, especialmente en trabajadores con exposición prolongada a dispositivos digitales (Talens-Estarelles et al., 2023).
- Registrar las modificaciones realizadas en los sistemas de iluminación y, cuando sea posible, comparar indicadores de exposición y sintomatología antes y después de las intervenciones.

Conclusiones

La relación entre luminarias LED y fatiga visual debe abordarse mediante un modelo multicausal. La radiación ultravioleta residual constituye un componente que debe verificarse técnicamente, pero no debe asumirse como la causa principal de los síntomas en luminarias blancas de iluminación general.

Los factores con mayor plausibilidad ocupacional son el deslumbramiento, la iluminancia inadecuada, la distribución no uniforme, la modulación temporal, la exposición prolongada a tareas visuales y la interacción con pantallas.

La evaluación preventiva debe superar el cumplimiento aislado de niveles de lux e integrar información espectral, temporal, fotobiológica y ergonómica.

La aplicación rigurosa de PRISMA 2020, criterios PECO y herramientas de riesgo de sesgo permitirá identificar la consistencia de las asociaciones y los principales vacíos de conocimiento.

Se recomienda completar el manuscrito con la búsqueda definitiva, el diagrama PRISMA con cifras reales, la tabla de características de los estudios incluidos y la evaluación metodológica antes de su envío a una revista.

Referencias bibliográficas

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2023). 2023 TLVs and BEIs: Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. ACGIH.
American Optometric Association. (2021). Computer vision syndrome.
Behar-Cohen, F., Martinsons, C., Viénot, F., Zissis, G., Barlier-Salsi, A., Cesarini, J. P., Enouf, O., Garcia, M., Picaud, S., & Attia, D. (2011). Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye? Progress in Retinal and Eye Research, 30(4), 239–257. https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2011.04.002
Boyce, P. R. (2021). Human factors in lighting (4th ed.). CRC Press.
Bullough, J. D., & Rea, M. S. (2021). Simulating indoor lighting environments for occupational visual performance. Lighting Research & Technology, 53(6), 587–603.
Cajochen, C., Münch, M., Kobialka, S., Kräuchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., Orgül, S., & Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 90(3), 1311–1316. https://doi.org/10.1210/jc.2004-0957
Commission Internationale de l'Éclairage. (2018). CIE system for metrology of optical radiation for ipRGC-influenced responses to light (CIE S 026/E:2018).
Commission Internationale de l'Éclairage. (2019). Position statement on the blue light hazard. CIE.
Commission Internationale de l'Éclairage. (2022). Guide to healthful interior lighting. CIE.
Commission Internationale de l'Éclairage. (2024). CIE position statement on integrative lighting: Recommending proper light at the proper time (3rd ed., CIE PS 001:2024). https://doi.org/10.25039/PS.b2twa77g
European Commission. (2021). Commission Regulation (EU) 2019/2020 laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears. Official Journal of the European Union.
Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2015). IEEE recommended practices for modulating current in high-brightness LEDs for mitigating health risks to viewers (IEEE Std 1789-2015). IEEE.
International Electrotechnical Commission & Commission Internationale de l'Éclairage. (2006). Photobiological safety of lamps and lamp systems (IEC 62471:2006/CIE S 009:2002). IEC.
International Electrotechnical Commission. (2022). Photobiological safety of lamps and lamp systems—Part 6: Ultraviolet lamp products (IEC 62471-6:2022). IEC.
International Electrotechnical Commission. (2023). Photobiological safety of lamps and lamp systems—Part 7: Light sources and luminaires primarily emitting visible radiation (IEC 62471-7:2023). IEC.
International Organization for Standardization & Commission Internationale de l'Éclairage. (2025). Light and lighting—Lighting of work places—Part 1: Indoor (ISO/CIE 8995-1:2025). ISO.

Joines, S., James, T., Liu, S., Wang, W., Dunn, R., & Cohen, S. (2015). Adjustable task lighting: Field study assesses the benefits in an office environment. Work, 51(3), 471–481. https://doi.org/10.3233/WOR-141879

Lan, L., Hadji, S., Xia, L., & Lian, Z. (2022). A study of the effects of different indoor lighting environments on computer work fatigue. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(10), 6206.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks. (2018). Opinion on potential risks to human health of light emitting diodes (LEDs). European Commission.

Talens-Estarelles, C., Cerviño, A., García-Lázaro, S., Fogelton, A., Sheppard, A., & Wolffsohn, J. S. (2023). The effects of breaks on digital eye strain, dry eye and binocular vision: Testing the 20-20-20 rule. Contact Lens and Anterior Eye, 46(2), 101744. https://doi.org/10.1016/j.clae.2022.101744

United States Department of Energy. (2022). Solid-state lighting technology fact sheet. U.S. Department of Energy.

World Health Organization. (2010). Healthy workplaces: A model for action. World Health Organization.

Conflicto de intereses:
Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.
Financiamiento:
No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.
Agradecimiento:
N/A
Nota:
El artículo no es producto de una publicación anterior.