

# Emisión persistente en cementicios, pavimentos y envolventes arquitectónicas: revisión crítica

Persistent emission in cementitious materials, pavements and architectural envelopes: a critical review

Jorge Luis Colunche-Bustamante<sup>1\*</sup> , Franklin Jammerly Tapia-Chamaya<sup>1</sup> , Yelsin Rojas-Carranza<sup>1</sup> , Faustino Ruiz-Díaz<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatará, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

\*Autor de correspondencia: [jorgex240393@gmail.com](mailto:jorgex240393@gmail.com)

Recibido: 30/04/2026 Aceptado: 21/10/2026 Publicado: 30/10/2026

DOI: <https://doi.org/10.37518/2663-6360x2026v9n1p46>

**RESUMEN:** La aplicación práctica de materiales de emisión persistente se vio limitada por la heterogeneidad de las mediciones y por la incertidumbre sobre su durabilidad y su ahorro energético. Se sintetizó críticamente la evidencia de 2018–2026 sobre señalización, matrices cementicias, pavimentos y envolventes. Se auditó un inventario de 43 publicaciones, compuesto por 39 artículos primarios, 2 actas de estudios primarios y 2 revisiones. Se cotejaron identificadores bibliográficos y se extrajeron resultados de fuentes editoriales accesibles, diferenciando la medición, la simulación y la aplicación propuesta. En señales cargadas durante 24 h a 25 lx, la luminancia a 60 min alcanzó 4,31 y 5,91 mcd/m<sup>2</sup> con LED de 3000 K y 4000 K, respectivamente. Un mortero con 15 % de vidrio reciclado y un pigmento equivalente al 30 % del cemento alcanzó una resistencia a la compresión de 19,55 MPa, aunque no se verificó la edad de ensayo en el resumen consultado. El ahorro anual de iluminación de hasta 40 % se debió a simulaciones de una envolvente translúcida-fotoluminiscente y no al consumo medido ni al efecto aislado del pigmento. Se concluyó que la evidencia respaldó los desarrollos de laboratorio y las aplicaciones complementarias, pero no demostró la viabilidad general en servicio.

**Palabras clave:** aluminato de estroncio, construcción, durabilidad, fotoluminiscencia, señalización.

**ABSTRACT:** The practical application of persistent-luminescence materials has been limited by the heterogeneity of measurements and by uncertainty regarding their durability and energy savings. Evidence from 2018–2026 on signage, cementitious matrices, pavements, and building envelopes was critically synthesized. An inventory of 43 publications was audited, comprising 39 primary articles, 2 conference proceedings of primary studies, and 2 reviews. Bibliographic identifiers were cross-checked, and results were extracted from accessible publisher sources, distinguishing among measurement, simulation, and proposed application. In signs charged for 24 h at 25 lx, luminance at 60 min reached 4.31 and 5.91 mcd/m<sup>2</sup> with 3000 K and 4000 K LEDs, respectively. A mortar containing 15 % recycled glass and a pigment content equivalent to 30 % of the cement weight achieved a compressive strength of 19.55 MPa, although the testing age could not be verified in the consulted abstract. The annual lighting savings of up to 40 % were derived from simulations of a translucent-photoluminescent envelope, not from measured consumption or from the isolated effect of the pigment. It was concluded that the evidence supported laboratory developments and complementary applications but did not demonstrate general in-service feasibility.

**Keywords:** strontium aluminate, construction, durability, photoluminescence, signage.

## 1. INTRODUCCIÓN

La iluminación de edificios y espacios urbanos sigue siendo un componente crítico del consumo energético y de la seguridad de uso (International Energy Agency [IEA], 2023). Los materiales que emiten luz tras recibir radiación ofrecen posibilidades de señalización y orientación en el entorno construido. Sin embargo, la presencia de resplandor no demuestra que una superficie proporcione iluminación útil durante toda la noche, y su evaluación depende de protocolos fotométricos normalizados (ASTM International, 2024). Las revisiones de Zhang et al. (2024) y de Wang et al. (2026a) identifican problemas de estabilidad y de evaluación en los sistemas de aluminato empleados en pavimentos.

La luminiscencia es la emisión no térmica de luz, y la fotoluminiscencia es la luminiscencia producida por excitación con fotones. La emisión persistente es la lu-

miniscencia que continúa después de retirar la excitación (Leimane et al., 2023). En los aluminatos dopados, se relaciona con el almacenamiento y la liberación de portadores de carga en trampas. Por ello, no debe confundirse con toda la luminiscencia ni reducirse al mecanismo molecular de la fosforescencia (Zhang et al., 2024).

El aluminato de estroncio dopado con europio y disprosio (SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup>) requiere protección frente al agua y compatibilidad con la matriz. La modificación superficial puede favorecer su desempeño, pero el aumento de la dosificación no mejora necesariamente todas las propiedades. Lv et al. (2024) observan incrementos de la resistencia con tratamientos hidrofóbicos en rangos específicos, mientras que Su et al. (2025) estudian la protección mediante metiltrietoxisilano.

En aplicaciones viales, Martínez et al. (2023) comparan mezclas bituminosas, morteros y pinturas, y des-

tacan una formulación con 60 % de aluminato y 6 % de microesferas sobre fondo blanco. Este resultado corresponde a sus materiales y a su protocolo de carga, y no establece una dosificación universal. El desgaste y la exposición ambiental requieren una evaluación adicional (Lu et al., 2024a).

En arquitectura, las superficies emisoras se combinan con vidrio, membranas y ventanas. Marchini et al. (2023) estudian la difusión luminosa y el deslumbramiento. Chiatti et al. (2021a) estiman los ahorros mediante simulaciones de una envolvente que integra translucidez y fotoluminiscencia. Distinguir entre la transmisión de luz diurna, la emisión residual y el consumo eléctrico evita atribuir todos los beneficios al pigmento.

Esta revisión integra cuatro dominios que suelen abordarse por separado y distingue entre la evidencia de laboratorio, las simulaciones y las propuestas de aplicación. El objetivo general es sintetizar la evidencia científica publicada entre 2018 y 2026 sobre materiales fosforescentes aplicados en la construcción moderna, con énfasis en señalización, pavimentos, matrices cementicias, envoltentes arquitectónicas y eficiencia energética. Los objetivos específicos son: sistematizar las aplicaciones por dominio constructivo; comparar matrices, tratamientos y métricas de desempeño; identificar vacíos de conocimiento; y proponer líneas futuras de investigación aplicada en ingeniería civil y arquitectura.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La revisión se realizó siguiendo una estrategia sistemática adaptada a revisiones narrativas. Se consultaron Scopus, Web of Science, SciELO y Google Académico en abril de 2026. La búsqueda se actualizó el 25 de mayo de 2026, fecha tomada como fecha de corte. Se delimitó al periodo 2018–2026, con prioridad a artículos de revistas indexadas, porque el campo de los materiales de emisión persistente aplicados a la construcción se consolidó principalmente a partir de estudios experimentales recientes. Se emplearon ecuaciones booleanas en español e inglés, que combinaban términos de fenómeno, material, matriz y aplicación en los campos de título, resumen y palabras clave (Tabla 1).

### 2.2. Criterios de inclusión, exclusión y calidad documental

Se incluyeron estudios con aplicación directa o transferible al entorno construido, con descripción verificable del sistema material y con reporte de al menos una métrica de desempeño óptico, mecánico, de durabilidad, de confort visual o de eficiencia energética. Se excluyeron: estudios biomédicos, ópticos o de síntesis química sin transferencia a la construcción; documen-

tos sin texto completo; fuentes sin DOI/URL verificable; y trabajos que repetían resultados de una fuente primaria. La calidad se valoró con los cinco criterios de la Tabla 2 y se aplicó a las 43 publicaciones incluidas. De ellas, 36 alcanzaron un nivel alto, 7 un nivel medio y ninguna un nivel bajo, porque las de nivel bajo ya se habían excluido en la etapa de elegibilidad. El nivel asignado a cada publicación se detalla en la matriz de evidencia (Tabla 9).

### 2.3. Proceso de selección y extracción de datos

La selección se ejecutó en tres etapas: (i) depuración de duplicados por coincidencia de título y DOI; (ii) cribado por título y resumen; y (iii) evaluación de elegibilidad por lectura del texto completo. Se identificaron 185 registros. Tras eliminar 43 duplicados, se cribaron 142 títulos y resúmenes, de los cuales se excluyeron 85 por no ajustarse al tema o a los criterios de elegibilidad. Después se evaluaron 57 textos completos y se excluyeron 14 por falta de aplicación constructiva, ausencia de métricas verificables, falta de acceso al texto completo o duplicidad temática. Finalmente, se incluyeron 43 publicaciones: 39 artículos primarios, 2 actas de estudios primarios y 2 revisiones. Además, se consultaron dos documentos técnicos de apoyo que no forman parte del corpus analizado (IEA, 2023; ASTM International, 2024). Dos revisores realizaron el cribado y la selección de forma independiente. Las discrepancias se resolvieron por consenso y, cuando persistieron, mediante un tercer revisor. En la Figura 1 se presenta el flujograma de selección.

La extracción de datos se realizó mediante una matriz con los siguientes campos: autor y año, tipo de estudio, dominio, sistema material, matriz, método de incorporación, métricas fotométricas, propiedades mecánicas, durabilidad, aplicación y limitaciones. La síntesis se organizó en cuatro dominios: señalización y evacuación; matrices cementicias y componentes arquitectónicos; pavimentos y señalización vial; y eficiencia energética y envoltentes. Las métricas no equivalentes se interpretaron de forma comparativa, sin fusionar unidades ni condiciones de excitación distintas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evidencia incluida ( $n = 43$  publicaciones) se concentró en cuatro dominios de aplicación. El mayor volumen correspondió a pavimentos, marcación vial y cementicios autoluminiscentes, mientras que el componente arquitectónico se sustentó en estudios sobre morteros decorativos, agregados de vidrio luminiscente, ventanas inteligentes, madera translúcida y envoltentes fotoluminiscentes (Tabla 3). Un mismo estudio pudo ser relevante en más de un dominio; en esos casos se clasificó según su aporte principal, sin doble conteo, de modo que los cuatro grupos suman los 43 estudios incluidos.

**Cuadro 1.** Estrategia de búsqueda bibliográfica y filtros aplicados

| Base             | Filtros                                                                                                                             | Ecuaciones principales                                                                                                                                                                   |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Scopus           | 2018–2026; Engineering, Materials Science, Energy, Environmental Science, Architecture; artículos y revisiones.                     | (photolumines* OR phosphorescen* OR "persistent luminescen*.OR afterglow") AND (construction OR cement OR mortars OR concrete OR pavement OR road marking. OR architectural OR envelope) |
| Web of Science   | 2018–2026; Science Citation Index Expanded (ESCI); categorías afines a los materiales, la construcción, la energía y el transporte. | ("strontium aluminate. OR SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> OR "long afterglow") AND (cementitious OR pavement OR coating OR signage OR "smart window. OR "building envelope")            |
| SciELO           | 2018–2026; español, portugués e inglés.                                                                                             | (fotoluminisc* OR fosforesc* OR "luminiscencia persistente") AND (construcción OR cemento OR mortero OR concreto OR pavimento OR señalización)                                           |
| Google Académico | Búsqueda complementaria; primeras 100 coincidencias por relevancia; verificación de DOI/fuente.                                     | (.Eu Dy strontium aluminate. OR "self-luminous pavement. OR "photoluminescent mortars") AND (construction OR architecture OR civil engineering)                                          |

**Cuadro 2.** Criterios de evaluación de calidad documental

| Criterio                 | Nivel alto                                                                                    | Nivel medio                                                           | Nivel bajo/exclusión                                        |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Pertinencia constructiva | Aplicación en cemento, mortero, concreto, pavimento, señalización, envolvente o arquitectura. | Aplicación potencial con extrapolación técnica al entorno construido. | Material óptico/químico sin transferencia constructiva.     |
| Métricas                 | Reporta la luminancia/decaimiento y el desempeño mecánico o la durabilidad.                   | Reporta solo una familia de métricas.                                 | No reporta métricas verificables.                           |
| Rigurosidad metodológica | Métodos, dosificación, ensayos y condiciones claramente descritos.                            | Método comprensible, pero con datos parciales.                        | Método insuficiente o no reproducible.                      |
| Fuente                   | Artículo indexado o revista revisada por pares con DOI.                                       | Acta indexada o fuente académica con DOI/URL.                         | Preprint, tesis o fuente no revisada sin soporte adicional. |
| Comparabilidad           | Permite comparar la matriz, el tratamiento, las condiciones y los resultados.                 | Comparabilidad parcial.                                               | No es comparable con el objetivo de la revisión.            |

**Cuadro 3.** Clasificación temática de las 43 publicaciones incluidas

| Dominio                                           | n  | Fuentes principales                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Señalización, evacuación y medición               | 3  | Bernardini et al. (2023); Villa et al. (2024); Wandachowicz y Zalesińska (2025)                                                                                                                                                                                                                      |
| Matrices cementicias y componentes constructivos  | 12 | Flor et al. (2018); Gao et al. (2018); He et al. (2019); Sikandar et al. (2019); Wang et al. (2021a, 2021b); Dang et al. (2023); Lv et al. (2024); Birolo et al. (2025); Su et al. (2025); Tito Salazar et al. (2025); Ha et al. (2026)                                                              |
| Pavimentos y señalización vial                    | 16 | Kousis et al. (2020); Bi et al. (2021); Maqsd et al. (2021); Guo y Liu (2022); Wang et al. (2022); Martínez et al. (2023); Wang et al. (2023); Pan et al. (2023); Jiang et al. (2023); Zhang et al. (2024); Lu et al. (2024a, 2024b); He et al. (2025); Gu et al. (2025); Wang et al. (2026a, 2026b) |
| Arquitectura, envolventes y eficiencia energética | 12 | Rosso et al. (2019); Chiatti et al. (2021a, 2021b, 2023a, 2023b); Al-Qahtani et al. (2021); Xiao et al. (2022a, 2022b); Marchini et al. (2023); Alzahrani et al. (2023); Abu-Melha (2024); Wei et al. (2024)                                                                                         |

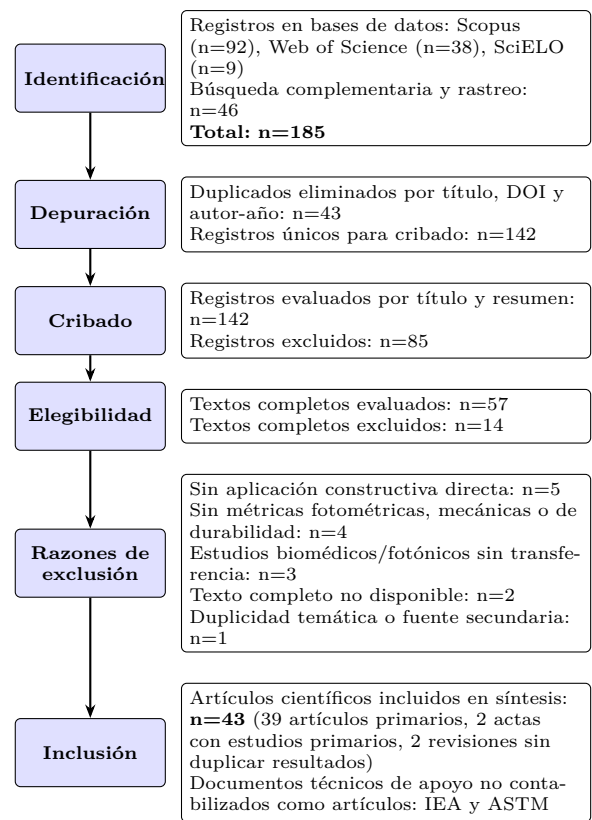


Figura 1. Flujograma de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de artículos científicos revisados.

3.1. Señalización, evacuación y medición: de la luminancia al desempeño humano

La comparación fotométrica evidenció que la carga condicionó la emisión residual (Tabla 4). Wandachowicz y Zalesińska (2025) ensayaron señales de un fabricante y de clase A. Su prueba visual utilizó una luminaria que reprodujo la luminancia de la señal, por lo que no equivalió a una evacuación real. La interpretación fue compatible con la dependencia de la tarea observada en realidad virtual por Bernardini et al. (2023). La diferencia entre las fuentes LED mostró que una iluminación igual no garantizó una respuesta luminiscente equivalente. La composición espectral, la adaptación visual y la ubicación de la señal deben considerarse conjuntamente. La luminancia residual no justificó, por sí sola, la sustitución de la iluminación de emergencia ni los requisitos específicos de cada instalación.

Cuadro 4. Luminancia residual bajo dos condiciones de carga LED

| Fuente de carga | A 10 min<br>(mcd/m²) | A 60 min<br>(mcd/m²) |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| 3000 K          | 14,0                 | 4,31                 |
| 4000 K          | 23,9                 | 5,91                 |

Nota. Iluminancia de 25 lx y carga de 24 h; valores de la Tabla 6 de Wandachowicz y Zalesińska (2025).

Los sistemas fotoluminiscentes de señalización se presentan como soluciones pasivas o de consumo eléc-

trico cero para rutas de emergencia y la marcación de recorridos (Abdelmoumene et al., 2024). No obstante, la evidencia experimental indica que la efectividad del guiado depende de la configuración espacial y de la tarea cognitiva del usuario; por ejemplo, los sistemas pasivos pueden favorecer la selección direccional, mientras que los activos pueden ser más eficientes en rutas unidireccionales en condiciones críticas (Bernardini et al., 2023).

La medición también plantea un problema metodológico. Las marcaciones luminiscentes pueden presentar desempeños que van desde pocos minutos hasta una noche completa, por lo que Villa et al. (2024) propusieron indicadores de predicción anuales para acercar la evaluación de laboratorio al comportamiento real en el exterior. En señalización de evacuación, los umbrales de luminancia y la excitación dependen de la fuente de carga y de la temperatura de color correlacionada, lo que obliga a vincular el diseño fotoluminiscente con el sistema LED existente (Wandachowicz y Zalesińska, 2025). Por tanto, el desempeño de los accesorios constructivos debe validarse con métricas fotométricas, pero también con criterios de legibilidad, orientación y comportamiento humano.

3.2. Matrices cementicias: compatibilidad entre luminiscencia, hidratación y durabilidad

En matrices cementicias, los estudios iniciales demostraron que los polvos de aluminato de estroncio pueden incorporarse en compuestos de cemento y de pavimento, pero el resultado depende de la dosificación, la dispersión y la protección superficial del fósforo (Flor et al., 2018). El problema técnico central es que la matriz Portland combina alcalinidad, humedad y productos de hidratación que pueden degradar el fósforo y reducir la luminancia residual (Sikandar et al., 2019).

Las intervenciones sobre el pigmento produjeron resultados distintos de los de las modificaciones del agregado (Tabla 5). Lv et al. (2024) compararon fósforos hidrofóbicos y sin modificar; Ttito Salazar et al. (2025) estudiaron vidrio molido en un mortero pigmentado. Los resultados no se combinaron, porque sus comparadores y dosificaciones fueron diferentes. La protección frente al agua pudo reducir la degradación del fósforo, aunque el incremento del polvo también alteró la composición y la estructura de la matriz. En el estudio de Lv et al. (2024), las dosificaciones de hasta 15 % mantuvieron o mejoraron la resistencia del control, mientras que la de 20 % la redujo. Su et al. (2025) reportaron emisión visible durante 8 h en una combinación de pigmento y polvo reflectante; sin una luminancia umbral y un protocolo de carga comparables, esa duración no se interpretó como una certificación funcional.

La solución no consiste simplemente en aumentar el contenido de fósforo. Wang et al. (2021a) mostraron que la distribución del polvo luminiscente y reflectivo afecta simultáneamente a las propiedades mecánicas y

**Cuadro 5.** Resultados mecánicos y de durabilidad con condiciones identificadas

| Fuente                      | Resultado                                    | Condición y alcance                                                                                    |
|-----------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lv et al. (2024)            | Compresión: mejora de 10,2–23,8 % a 28 días. | Comparación con fósforo sin modificar. La ventaja no definió un óptimo general.                        |
| Ttito Salazar et al. (2025) | Compresión: 19,55 MPa. Adherencia: 0,49 MPa. | 15 % de vidrio respecto al agregado fino; pigmento 30 % del cemento. Edad no verificada en el resumen. |
| Su et al. (2025)            | Reducción del decaimiento residual: 50,2 %.  | 48 h de inmersión; tratamiento MTES. No equivalió a vida útil en obra.                                 |

luminosas. Dang et al. (2023) confirmaron que los recubrimientos de SiO<sub>2</sub> estabilizan el fósforo y reducen los daños por hidrólisis. Lv et al. (2024) y Su et al. (2025) reportaron que los tratamientos hidrofóbicos mejoran el equilibrio entre resistencia y resplandor residual únicamente dentro de rangos específicos de dosificación. Por ello, la discusión crítica converge en un enfoque de optimización multiobjetivo: luminancia inicial, luminancia residual, hidratación, resistencia, trabajabilidad y estabilidad frente al agua (Tabla 6).

**3.3. Pavimentos y señalización vial: superioridad relativa de recubrimientos y conflicto con el servicio**

La evidencia vial muestra una transición de las mezclas masivas a recubrimientos o sistemas superficiales. Kousis et al. (2020) analizaron pavimentos fosforescentes como alternativa para mitigar el sobrecalentamiento urbano, mientras que Martínez et al. (2023) compararon mezclas bituminosas, morteros y pinturas, identificando un mejor desempeño luminoso en las pinturas con aluminato y microesferas. La razón técnica es que el recubrimiento concentra el emisor en la zona visible y reduce las pérdidas por enterramiento en la matriz.

Sin embargo, el principal conflicto es la vida útil en servicio. Lu et al. (2024a) evaluaron marcaciones MMA bajo agua, con abrasión y bajo luz UV, lo que evidencia la necesidad de ensayos acoplados. Pan et al. (2023) y Jiang et al. (2023) propusieron sistemas epoxi o mezclas asfálticas vertidas para proteger el material luminiscente en estructuras porosas. Gu et al. (2025) y Wang et al. (2026b) avanzaron hacia un equilibrio cuantitativo entre el desempeño óptico, la resistencia, la fricción y la durabilidad. Esta línea indica que los pavimentos autoluminiscentes son prometedores, pero su uso masivo requiere validar la fricción, la abrasión y la luminancia residual bajo tránsito real (Tabla 7).

**3.4. Arquitectura, envolventes y diseño espacial**

El componente arquitectónico se fortaleció al incorporar estudios sobre morteros decorativos, ventanas inteligentes, envolventes translúcidas y madera fotoluminiscente. Los morteros de vidrio luminiscente permiten integrar la función estética y la orientación nocturna en acabados, zócalos, rutas interiores y superficies de bajo tránsito (Xiao et al., 2022a). El tipo y la protección del polvo luminiscente influyen en el rendimiento del brillo luminiscente del mortero, por lo que la selección del material debe responder al uso previsto y no solo al color del pigmento (Xiao et al., 2022b).

Sobre envolventes, Chiatti et al. (2021a) reportaron que componentes translúcidos fotoluminiscentes pueden reducir el consumo de iluminación en escenarios específicos, pero este resultado depende de la geometría, la exposición y el entorno urbano. Marchini et al. (2023) amplían esta línea al evaluar recubrimientos fotoluminiscentes para ventanas inteligentes, en los que el valor no es únicamente energético, sino también visual: difusión de la luz, confort y orientación nocturna. Birolo et al. (2025) evaluaron membranas con 20, 30 y 40 % de pigmento, y reportaron emisión a 514 nm. La madera translúcida fotoluminiscente de Al-Qahtani et al. (2021) abre una ruta biobasada para la arquitectura, pero aún requiere evaluación a escala de la resistencia al intemperismo y de la compatibilidad normativa (Tabla 8).

La emisión después del apagado no requirió alimentación eléctrica inmediata, pero la excitación pudo provenir de luminarias. Por ello, el balance energético debe considerar la carga, los horarios, la luz natural, el mantenimiento y la reposición. En las fuentes verificadas para esta comparación no se estableció un ahorro anual atribuible exclusivamente a la emisión persistente en edificios ocupados. Asimismo, para implementar con éxito estas tecnologías, es necesario abordar el diseño arquitectónico de manera sistémica, como se esquematiza en la Figura 2, en la que el proceso parte de la función espacial requerida y de la selección del sistema material idóneo, para proceder a la validación del rendimiento óptico y mecánico, así como del confort visual.

**3.5. Eficiencia energética: beneficios condicionados y enfoque híbrido**

Las afirmaciones sobre el ahorro energético deben interpretarse con cautela. Rosso et al. (2019) plantearon las pinturas fotoluminiscentes frías como una estrategia pasiva de enfriamiento e iluminación urbana. Chiatti et al. (2021b) evaluaron la fotoluminiscencia como ruta de enfriamiento pasivo e iluminación, pero sus beneficios dependen de la absorción, la emisión y la exposición solar, así como de los horarios de uso. Chiatti et al. (2023b) demostraron que combinar pigmentos fluorescentes y fosforescentes puede equilibrar brillo y persistencia, aunque no sustituye por sí solo a los sistemas de iluminación general.

**Cuadro 6.** Tendencias comparativas en matrices cementicias y morteros fotoluminiscentes

| Tendencia                          | Evidencia convergente                                                                                                                                                      | Implicancia para construcción                                                             |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Protección superficial del fósforo | SiO <sub>2</sub> , el organosilicio y el MTES reducen la hidrólisis y mejoran la compatibilidad con la matriz (Dang et al., 2023; Sikandar et al., 2019; Su et al., 2025). | Debe especificarse el fósforo tratado, no solo el porcentaje de polvo.                    |
| Dosificación no lineal             | El aumento de la cantidad de polvo mejora la luminancia, pero puede reducir la trabajabilidad o la resistencia (Birolo et al., 2025; Lv et al., 2024).                     | Se requieren rangos óptimos para cada matriz y cada función.                              |
| Reciclaje funcional                | El vidrio reciclado y el vidrio luminiscente aportan valor arquitectónico y circularidad (Ha et al., 2026; Maqsud et al., 2021; Ttito Salazar et al., 2025).               | El reciclaje debe evaluarse en función de la luminancia, la resistencia y la durabilidad. |
| Arquitectura superficial           | Morteros decorativos y agregados luminiscentes evidencian un mayor control visual en los acabados que en las masas estructurales (Wei et al., 2024; Xiao et al., 2022a).   | La aplicación más viable es en acabados, guías, bordes y componentes no estructurales.    |

**Cuadro 7.** Comparación crítica de formatos de aplicación vial

| Formato                                 | Fortaleza                                                                      | Limitación recurrente                                                                          | Autores clave                                                              |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Pinturas y recubrimientos               | Mayor control de la luminancia y mantenimiento fácilmente accesible.           | Desgaste superficial, exposición a la luz UV, pérdida de adherencia y necesidad de renovación. | Bi et al. (2021); Wang et al. (2023); Lu et al. (2024a); He et al. (2025). |
| Mezclas cementicias o morteros          | Integración con superficies durables y prefabricados.                          | Pérdida de brillo por enterramiento del fósforo y por afectación mecánica.                     | Gao et al. (2018); Wang et al. (2021b); Ttito Salazar et al. (2025).       |
| Asfalto autoluminiscente                | Compatibilidad con la infraestructura vial y posibilidad de relleno de vacíos. | Control de la porosidad, inyección de lechada, fricción y estabilidad a largo plazo.           | Guo y Liu (2022); Jiang et al. (2023); Wang et al. (2026b).                |
| Pavimentos activos/revisión de formatos | Integra materiales, medición y aplicaciones prácticas.                         | Persisten brechas en el campo y en la normalización.                                           | Zhang et al. (2024); Wang et al. (2026a).                                  |

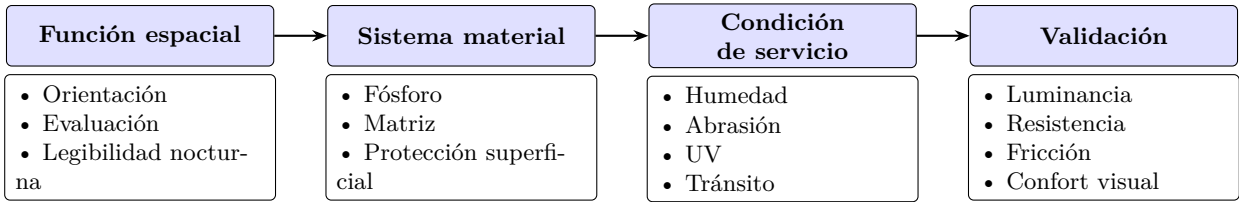


**Figura 2.** Integración de criterios arquitectónicos para la aplicación de materiales de emisión persistente en el entorno construido.

**Cuadro 8.** Alcance de las afirmaciones energéticas y arquitectónicas

| Fuente                 | Hallazgo                                                                                | Naturaleza de la evidencia                                                                        |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chiatti et al. (2021a) | Hasta 40 % anual y cerca de 80 % en el día más largo, para electricidad de iluminación. | Simulaciones del sistema combinado; no ahorro medido ni reducción del consumo total del edificio. |
| Marchini et al. (2023) | Difusión diurna y control del deslumbramiento.                                          | Investigación experimental y numérica; no se extrajo un ahorro anual medido.                      |
| Birolo et al. (2025)   | Respuesta óptica de una membrana funcional.                                             | Ensayo de material; beneficio energético propuesto.                                               |

Por consiguiente, el enfoque más consistente es el híbrido. La fotoluminiscencia puede reducir iluminación auxiliar en rutas, bordes, señalización y superficies de orientación. La iluminación general de edificios y espacios públicos requiere seguir apoyándose en LED, sensores, control horario y en el aprovechamiento de la luz natural. Así, el beneficio energético de los materiales de emisión persistente debe medirse a escala de sistema, considerando las horas de iluminación evitadas, el mantenimiento, la vida útil, la reposición y el desempeño en condiciones reales.

**3.6. Síntesis de contradicciones, vacíos e implicancias**

La primera contradicción es que un mayor contenido de fósforo no garantiza un mejor desempeño global. En varios estudios, la luminancia aumenta con la dosificación, pero la trabajabilidad, la resistencia o la estabilidad disminuyen (Birolo et al., 2025). La segunda contradicción es que la luminancia de laboratorio no siempre predice el desempeño en servicio, ya que la excitación, el envejecimiento por UV, la abrasión y la humedad modifican la respuesta en servicio (Lu et al., 2024a). La tercera contradicción es que las soluciones más brillantes no necesariamente son las más útiles para la evacuación o el confort visual, ya que tanto la tarea del usuario como la distribución espacial condicionan la eficacia del guiado (Bernardini et al., 2023).

Los vacíos más relevantes son: falta de protocolos unificados de excitación y lectura, validación limitada en campo, ausencia de análisis de ciclo de vida en la mayoría de las aplicaciones, escasez de pruebas con tráfico real y escasa integración entre el diseño arquitectónico, la fotometría y el mantenimiento. Las líneas futuras deben orientarse a normas por aplicación, ensayos combinados de humedad-abrasión-UV, diseño multiobjetivo de matrices y validación centrada en el ser humano en escenarios de evacuación, circulación y percepción nocturna (Tabla 9).

**4. CONCLUSIONES**

Los materiales de emisión persistente son viables a escala de laboratorio y de prototipo para guiado, señalización, acabados, recubrimientos viales y componentes constructivos no estructurales. Sin embargo, su viabilidad general en servicio aún no está demostrada y requiere validación en campo. El aporte de esta revisión consiste en integrar la fotometría, la matriz material, el ambiente de servicio y la experiencia del usuario, superando la visión del pigmento como simple aditivo decorativo.

La evidencia muestra que, en las matrices cementicias, el fósforo debe estabilizarse frente a la humedad, la alcalinidad y la hidrólisis mediante recubrimientos o modificaciones superficiales. Por ello, la transferencia a obra debe priorizar sistemas protegidos y dosificaciones compatibles, antes que aumentar indiscriminadamente el contenido de aluminato de estroncio.

En pavimentos y señalización vial, los recubrimientos superficiales ofrecen un mayor control lumínico que la incorporación del pigmento en la masa del material. No obstante, su escalabilidad depende de demostrar en servicio la adherencia, la fricción, la resistencia a la abrasión, la estabilidad frente a la radiación ultravioleta y la luminancia residual. Las investigaciones futuras deben validar prototipos en campo y estandarizar las condiciones de excitación y de medición.

En el diseño arquitectónico y la eficiencia energética, la emisión persistente funciona mejor como tecnología complementaria dentro de estrategias híbridas. Su mayor valor práctico está en la orientación, la seguridad, el confort visual y la reducción de la iluminación auxiliar. En cambio, la eficiencia general del edificio debe evaluarse con indicadores de sistema, de mantenimiento y de vida útil.

**LIMITACIONES**

Esta revisión presenta limitaciones: la búsqueda se restringió a cuatro bases, al periodo 2018-2026 y a fuentes con DOI/URL verificable, por lo que pudo omitir literatura no indexada; varios datos se extrajeron de fuentes editoriales accesibles y no siempre del texto completo; y la evaluación de calidad se basó en criterios cualitativos. Estos factores acotan la generalización de los hallazgos.

**AGRADECIMIENTOS**

Se expresa un agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH) por el financiamiento y respaldo institucional brindado para el desarrollo de la presente revisión, a través del área INCUBA UNACH.

**Cuadro 9.** Matriz sintética de evidencia científica incluida en la revisión (n = 43)

| N.º | Autor (año)              | Tipo                  | Sistema/material                                                                          | Principal aporte                                                                                                                           | Calidad |
|-----|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1   | Gao et al. (2018)        | Experimental          | Cemento + polvo luminiscente + tratamiento superhidrofóbico                               | Relacionó la luminiscencia, la hidrofobicidad y el desempeño mecánico; evidenció que la matriz modifica el equilibrio óptico-constructivo. | Alto    |
| 2   | Flor et al. (2018)       | Experimental          | Compuesto cementante con aluminato de estroncio                                           | Reportó la proporción óptima del aditivo en la matriz cementicia y su aplicabilidad en elementos constructivos.                            | Medio   |
| 3   | He et al. (2019)         | Experimental          | Compuesto cementicio autoluminiscente con autolimpieza                                    | Integró luminiscencia y autolimpieza, lo que evidencia su potencial para pavimentos urbanos funcionales.                                   | Alto    |
| 4   | Sikandar et al. (2019)   | Experimental          | SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu,Dy recubierto con SiO <sub>2</sub> en pasta Portland | Demostró que el recubrimiento resistente al agua mejora la compatibilidad del fósforo con las matrices cementicias.                        | Alto    |
| 5   | Rosso et al. (2019)      | Experimental/modelado | Pintura fría fotoluminiscente                                                             | Planteó la reducción térmica y el aporte de luz pasiva en las superficies del entorno construido.                                          | Medio   |
| 6   | Kousis et al. (2020)     | Prueba de concepto    | Pavimento fosforescente                                                                   | Asoció la fosforescencia con la mitigación del sobrecalentamiento urbano y con el potencial de iluminación pasiva.                         | Medio   |
| 7   | Wang et al. (2021a)      | Experimental          | Compuestos cementicias autoluminiscentes                                                  | Analizó las propiedades mecánicas y lumínicas, así como los mecanismos de emisión, en materiales cementicias.                              | Alto    |
| 8   | Wang et al. (2021b)      | Experimental          | Cemento con materiales fosforescentes                                                     | Explicó el mecanismo de decaimiento del resplandor y la influencia de la hidratación y de la distribución del polvo.                       | Alto    |
| 9   | Chiatti et al. (2021a)   | Experimental-numérico | Elemento translúcido fotoluminiscente                                                     | Reportó un potencial de ahorro en la iluminación de las envolventes, condicionado por el entorno urbano y el periodo de operación.         | Alto    |
| 10  | Chiatti et al. (2021b)   | Experimental-numérico | Materiales fotoluminiscentes optimizados                                                  | Relacionó la fotoluminiscencia con el enfriamiento pasivo y con la iluminación urbana.                                                     | Alto    |
| 11  | Al-Qahtani et al. (2021) | Experimental          | Madera translúcida fotoluminiscente                                                       | Mostró una ruta arquitectónica basada en madera modificada para ventanas inteligentes.                                                     | Alto    |
| 12  | Maqsd et al. (2021)      | Experimental          | Concreto fotoluminiscente con vidrio reciclado y acrílico                                 | Evaluó la microestructura del concreto fotoluminiscente para calles con baja iluminación.                                                  | Medio   |
| 13  | Bi et al. (2021)         | Experimental          | Pintura vial luminiscente                                                                 | Caracterizó la pintura vial luminiscente y los parámetros de formulación para demarcaciones.                                               | Alto    |
| 14  | Xiao et al. (2022a)      | Experimental          | Agregados de vidrio luminiscente en mortero decorativo                                    | Demostró la viabilidad de morteros arquitectónicos con vidrio luminiscente reciclado.                                                      | Alto    |
| 15  | Xiao et al. (2022b)      | Experimental          | Mortero de vidrio arquitectónico con diferentes polvos luminiscentes                      | Evidenció que el tipo, el tamaño y la protección del polvo condicionan el brillo y el desempeño del mortero.                               | Alto    |

**Cuadro 9.** Matriz sintética de evidencia científica incluida en la revisión (n = 43) (continuación)

| N.º | Autor (año)              | Tipo                  | Sistema/material                                                 | Principal aporte                                                                                                      | Calidad |
|-----|--------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 16  | Guo y Liu (2022)         | Experimental          | Material asfáltico autoluminiscente                              | Diseñó una mezcla asfáltica con función luminiscente y evaluó su compatibilidad vial.                                 | Alto    |
| 17  | Wang et al. (2022)       | Experimental          | Cementicias de distintos colores                                 | Relacionó el color, las propiedades luminiscentes y el confort visual en los pavimentos.                              | Alto    |
| 18  | Bernardini et al. (2023) | Experimental RV       | Sistemas pasivos y activos de orientación                        | Mostró que la efectividad depende de la tarea de evacuación, no solo de la luminancia.                                | Alto    |
| 19  | Marchini et al. (2023)   | Experimental-numérico | Recubrimiento translúcido-fotoluminiscente                       | Evaluó el confort visual, la difusión de la luz y el potencial energético de las ventanas inteligentes.               | Alto    |
| 20  | Chiatti et al. (2023a)   | Experimental          | Optimización de iluminación inteligente con fotoluminiscencia    | Propuso integrar el potencial luminoso de la fotoluminiscencia con estrategias de iluminación eficiente.              | Alto    |
| 21  | Chiatti et al. (2023b)   | Experimental          | Pigmentos fosforescentes + fluorescentes                         | Demostró que la combinación F-P equilibra la intensidad y la persistencia en aplicaciones del entorno construido.     | Alto    |
| 22  | Martínez et al. (2023)   | Experimental          | Mezclas bituminosas, morteros y pinturas fotoluminiscentes       | Identificó una mayor luminancia en soluciones tipo pintura con aluminato y microesferas sobre una base blanca.        | Alto    |
| 23  | Wang et al. (2023)       | Experimental          | Recubrimiento luminoso activo                                    | Optimizó el espesor y la composición, considerando el desprendimiento y el brillo inicial.                            | Alto    |
| 24  | Pan et al. (2023)        | Experimental          | Marcación epoxi autoluminiscente                                 | Diseñó una formulación que combinó fósforo, polvo reflectante, vidrio y resina epoxi.                                 | Alto    |
| 25  | Jiang et al. (2023)      | Experimental          | Mezcla asfáltica vertida autoluminiscente                        | Propuso una matriz porosa rellena con material luminiscente que integrara el desempeño vial y el resplandor residual. | Alto    |
| 26  | Dang et al. (2023)       | Experimental          | Fósforo de larga persistencia con recubrimiento SiO <sub>2</sub> | Analizó la resistencia, la hidratación, la porosidad y la luminiscencia en cementos autoluminiscentes.                | Alto    |
| 27  | Lu et al. (2024a)        | Experimental          | MMA con SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> no encapsulado          | Evaluó el agua, la abrasión y la radiación UV como condiciones de servicio acopladas.                                 | Alto    |
| 28  | Lu et al. (2024b)        | Experimental          | Poliuretano autoluminiscente                                     | Sintetizó recubrimientos de poliuretano con estabilidad química y desempeño óptico.                                   | Alto    |
| 29  | Wei et al. (2024)        | Experimental          | Mortero de vidrio luminiscente encapsulado con polvos blancos    | Mejoró la resistencia, el brillo y la resistencia a la exposición a UV mediante encapsulación.                        | Alto    |
| 30  | Villa et al. (2024)      | Experimental/modelado | Predicción anual de desempeño de marcas luminiscentes            | Propuso indicadores y un método de predicción para estandarizar el desempeño en exteriores.                           | Alto    |

**Cuadro 9.** Matriz sintética de evidencia científica incluida en la revisión (n = 43) (continuación)

| N.º | Autor (año)                      | Tipo         | Sistema/material                                                                                   | Principal aporte                                                                                                  | Calidad |
|-----|----------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 31  | Zhang et al. (2024)              | Revisión     | Aluminatos de larga persistencia                                                                   | Sintetizó los retos de la hidrólisis, de la estabilidad térmica y del desarrollo de recubrimientos.               | Medio   |
| 32  | Lv et al. (2024)                 | Experimental | Fósforos hidrofóbicos en SLCM (materiales cementicios autoluminiscentes, por sus siglas en inglés) | Reportó incrementos de resistencia con modificaciones hidrofóbicas dentro de rangos óptimos.                      | Alto    |
| 33  | Birolo et al. (2025)             | Experimental | Compuestos fosforescentes en construcción civil                                                    | Mostró aplicaciones funcionales y el compromiso entre el contenido de polvo y la trabajabilidad.                  | Alto    |
| 34  | Ttito Salazar et al. (2025)      | Experimental | Mortero fotoluminiscente con vidrio molido reciclado                                               | Evaluó la resistencia, la adherencia, la trabajabilidad y la luminancia residual.                                 | Alto    |
| 35  | He et al. (2025)                 | Experimental | Marcación acuosa ecoamigable $\text{SrAl}_2\text{O}_4\text{:Eu,Dy}$                                | Mejó el brillo inicial y a 8 h frente a alternativas termofusibles, manteniendo requisitos viales.                | Alto    |
| 36  | Gu et al. (2025)                 | Experimental | Material superficial autoluminiscente durable                                                      | Optimizó el aglutinante y el material de resplandor persistente para equilibrar el desempeño óptico y mecánico.   | Alto    |
| 37  | Su et al. (2025)                 | Experimental | Fósforos modificados con MTES                                                                      | Redució la pérdida de luminiscencia por inmersión y definió rangos de reemplazo compatibles.                      | Alto    |
| 38  | Ha et al. (2026)                 | Experimental | Vidrio luminiscente residual y pasta hidratada residual                                            | Relacionó el tamaño del vidrio, la trabajabilidad, la resistencia y el decaimiento biexponencial.                 | Alto    |
| 39  | Wang et al. (2026a)              | Revisión     | Pavimentos autoluminiscentes activos                                                               | Sistematizó los materiales, el desempeño, los métodos de medición y las aplicaciones prácticas.                   | Medio   |
| 40  | Wang et al. (2026b)              | Experimental | Acoplamiento porosidad-lechada-luminiscencia                                                       | Aportó un diseño para equilibrar la resistencia, la durabilidad, la fricción y la función luminiscente.           | Alto    |
| 41  | Alzahrani et al. (2023)          | Experimental | Concreto plástico transparente con aluminato de lantánidos                                         | Desarrolló un material transparente con fotocromía y resplandor persistente para elementos arquitectónicos.       | Alto    |
| 42  | Abu-Melha (2024)                 | Experimental | Poliestireno reciclado + nanopartículas de aluminato de estroncio                                  | Propuso un plástico fotocromico y un resplandor persistente, con enfoque en el reciclaje y la durabilidad óptica. | Alto    |
| 43  | Wandachowicz y Zalesińska (2025) | Experimental | Señales fosforescentes en rutas de escape                                                          | Determinó las condiciones de excitación y la luminancia útil para señales de evacuación en edificios.             | Medio   |

*Nota.* La calidad se midió según los cinco criterios de la Tabla 2 (alto, medio o bajo).

## FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada por la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), con recursos Canon Minero, mediante el área INCUBA-UNACH.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe ningún interés relacionado con los contenidos del artículo científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelmoumene, A., Bentarzi, H., Iqbal, A., & Krama, A. (2024). Developments and trends in emergency lighting systems: From energy-efficiency to zero electrical power consumption. *Life Cycle Reliability and Safety Engineering*, 13(2), 129–145. <https://doi.org/10.1007/s41872-024-00248-8>
- Abu-Melha, S. (2024). Preparation of photochromic and afterglow concrete from recycled polystyrene plastic waste immobilized with strontium aluminate nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 450, 115435. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.115435>
- Al-Qahtani, S. D., Aljuhani, E., Felaly, R., Alkhamis, K., Alkabli, J., Munshi, A., & El-Metwaly, N. M. (2021). Development of photoluminescent translucent wood toward photochromic smart window applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(23), 8340–8350. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c01603>
- Alzahrani, S., Alkhamis, K., Felaly, R., Alkhatib, F., Pashameah, R., Shah, R., & El-Metwaly, N. M. (2023). Preparation of transparent photoluminescence plastic concrete integrated with lanthanide aluminate. *Ceramics International*, 49(8), 12702–12709. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.12.135>
- ASTM International. (2024). ASTM E2073-24: Standard test method for photopic luminance of photoluminescent (phosphorescent) markings. ASTM International. <https://store.astm.org/e2073-24.html>
- Bernardini, G., Lovreglio, R., Quagliarini, E., & D'Orazio, M. (2023). Can active and passive wayfinding systems support fire evacuation in buildings? Insights from a virtual reality-based experiment. *Journal of Building Engineering*, 74, 106778. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106778>
- Bi, Y., Pei, J., Chen, Z., Zhang, L., Li, R., & Hu, D. (2021). Preparation and characterization of luminescent road-marking paint. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14, 252–258. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0229-3>
- Birolo, J. P. B., Pelisser, F., Ely, F., & Frizon, T. E. A. (2025). Phosphorescent compounds in civil construction materials: Functional applications. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 18(5), e18507. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952025000500007>
- Chiatti, C., Fabiani, C., Bondi, R., Zampini, G., Latterini, L., & Pisello, A. L. (2023b). Controlled combination of phosphorescent and fluorescent materials to exploit energy-saving potential in the built environment. *Energy*, 275, 127333. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127333>
- Chiatti, C., Fabiani, C., Cotana, F., & Pisello, A. L. (2021b). Exploring the potential of photoluminescence for urban passive cooling and lighting applications: A new approach towards materials' optimization. *Energy*, 231, 120815. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120815>
- Chiatti, C., Fabiani, C., & Pisello, A. L. (2023a). Toward the energy optimization of smart lighting systems through the luminous potential of photoluminescence. *Energy*, 266, 126346. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126346>
- Chiatti, C., Rosso, F., Fabiani, C., & Pisello, A. L. (2021a). Integrated energy performance of an innovative translucent photoluminescent building envelope for lighting energy storage. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103234. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103234>
- Dang, J., Song, C., Qiao, M., Li, G., Dong, S., Fan, F., & Lv, Y. (2023). Characteristics analysis of long afterglow phosphor with SiO<sub>2</sub> coating and evaluation its influence on the properties of self-luminescent cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 407, 133402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133402>
- Flor, M., Carpio, A., & Santamaría, J. (2018). Estudio de un compuesto cementante fotoluminiscente y su aplicación en la construcción. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 5(1), 62–70. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.811>
- Gao, Y., He, B., Xiao, M., Fang, Z., & Dai, K. (2018). Study on properties and mechanisms of luminescent cement-based pavement materials with super-hydrophobic function. *Construction and Building Materials*, 165, 548–559. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.231>
- Gu, F., Ning, H., Huang, Y., & Cai, J. (2025). Design a durable and self-luminous pavement surface material by optimizing optical and mechanical performance. *Construction and Building Materials*, 496, 143834. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143834>
- Guo, R., & Liu, S. (2022). Design and experiment of self-luminescent asphalt-based pavement materials. *Construction and Building Materials*, 342, 127991. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127991>
- Ha, T. M., Nguyen, N. N., Ba, H. T., & Tung, B. T. (2026). Producing luminescent mortar using luminescent waste glass and waste hydrated cement paste as sand replacement: Effect of waste glass particle size. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 30(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/19648189.2025.2568671>
- He, B., Gao, Y., Qu, L., Duan, K., Zhou, W., & Pei, G. (2019). Characteristics analysis of self-luminescent cement-based composite materials with self-cleaning effect. *Journal of Cleaner Production*, 225, 1169–1183. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.291>

- He, Y., Xiong, K., Li, R., Wang, L., Zhao, X., Shao, L., & Pei, J. (2025). Eco-friendly waterborne  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  luminous road markings: Preparation method with enhanced durability. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 143, 104728. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104728>
- International Energy Agency. (2023). Energy efficiency 2023. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023>
- Jiang, W., Li, P., Xing, C., Xiao, J., Wang, P., & Bai, L. (2023). Development and performance of pouring self-luminescent asphalt mixture. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137637. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137637>
- Kousis, I., Fabiani, C., Gobbi, L., & Pisello, A. L. (2020). Phosphorescent-based pavements for counteracting urban overheating: A proof of concept. *Solar Energy*, 202, 540–552. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.092>
- Leimane, M., Krizmane, K., Bite, I., Grube, J., & Vitola, V. (2023). Sol–Gel Synthesis of Translucent and Persistent Luminescent  $\text{SiO}_2 @ \text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$ , B Materials. *Materials*, 16(12), 1–10. <https://doi.org/10.3390/ma16124416>
- Lu, Q., Liu, X., Lu, Z., & Li, K. (2024b). Synthesis and characterization of polyurethane-based self-luminous pavement coatings: A performance evaluation study. *Frontiers in Materials*, 11, 1421349. <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1421349>
- Lu, X., Shang, Q., He, R., Yao, W., & Guo, H. (2024a). Visible characteristics and durability assessment of methyl methacrylate-based luminescent road marking using unencapsulated  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  under coupling service conditions. *Construction and Building Materials*, 438, 137071. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137071>
- Lv, Y., Song, C., Xiang, T., Dang, J., Dong, B., Jin, W., & Zhang, K. (2024). Effect of hydrophobic modification and dosage of long afterglow phosphors on the properties of self-luminescent cement-based materials. *Developments in the Built Environment*, 19, 100505. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100505>
- Maqsd, A. S., Amin, S., & Iqbal, R. (2021). Evaluating the microstructure of photoluminescent concrete pavement containing strontium-aluminate, acrylic and recycled waste glass. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1196, 012020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1196/1/012020>
- Marchini, F., Chiatti, C., Fabiani, C., & Pisello, A. L. (2023). Development of an innovative translucent-photoluminescent coating for smart windows applications: An experimental and numerical investigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 184, 113530. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113530>
- Martínez, A. H., López-Montero, T., Miró, R., & Puig, R. (2023). Photoluminescent applications for urban pavements. *Sustainability*, 15(20), 15078. <https://doi.org/10.3390/su152015078>
- Pan, P., Li, Y., Chen, Y., & Wang, N. (2023). Design and performance evaluation of the epoxy-based self-luminous pavement marking. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02477. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02477>
- Rosso, F., Fabiani, C., Chiatti, C., & Pisello, A. L. (2019). Cool, photoluminescent paints towards energy consumption reductions in the built environment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1343, 012198. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012198>
- Sikandar, M. A., Ahmad, W., Khan, M. H., Ali, F., & Waseem, M. (2019). Effect of water resistant  $\text{SiO}_2$  coated  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  persistent luminescence phosphor on the properties of Portland cement pastes. *Construction and Building Materials*, 228, 116823. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116823>
- Su, J., Feng, R., He, Y., Wu, X.-W., Wang, S., & Hou, P. (2025). Study on MTES-modified phosphors and the construction of self-luminous cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 496, 143809. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143809>
- Ttito Salazar, N. A., Vega Mercado, D. G., & Ríos Rabelo, J. L. (2025). Analysis of the physical-mechanical properties of a photoluminescent mortar added with recycled ground glass. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04571. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04571>
- Villa, C., Eymond, F., Marquet, P. L., Brémond, R., & Saint-Jacques, E. (2024). Method to predict the performance of luminescent road markings over a year. *Results in Engineering*, 24, 103388. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103388>
- Wandachowicz, K., & Zalesińska, M. (2025). Phosphorescent signs used in marking building escape routes. *Przegląd Elektrotechniczny*, 101(9). <https://pe.org.pl/wp-content/uploads/2025/10/Phosphorescent-signs-used-in-marking-building-escape-routes.pdf>
- Wang, K., Lu, Z., Zou, Y., Zhu, Y., & Yu, J. (2023). Preparation and performance characterization of an active luminous coating for asphalt pavement marking. *Coatings*, 13(6), 1108. <https://doi.org/10.3390/coatings13061108>
- Wang, W., Sha, A., Falchetto, A. C., Wang, D., Jiang, W., & Li, X. (2022). Properties analysis of self-luminous cement-based materials with different colors and their visual comfort evaluation on pavement. *Solar Energy*, 247, 214–227. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.10.013>
- Wang, W., Sha, A., Li, X., Zhang, F., Jiang, W., Yuan, D., & Liu, Z. (2021b). Cement filled with phosphorescent materials for pavement: Afterglow decay mechanism and properties. *Construction and Building Materials*, 284, 122798. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122798>
- Wang, W., Sha, A., Lu, Z., Jia, M., Jiang, W., Liu, Z., & Yuan, D. (2021a). Self-luminescent cement-based composite materials: Properties and mechanisms. *Construction and Building Materials*, 269, 121267. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121267>
- Wang, W., Wang, S., Lu, Z., Cheng, Y., Zhao, Y., & Zhang, Q. (2026a). A comprehensive review on active

- self-luminous pavements: Materials, performance, and practical applications. *Materials & Design*, 262, 115467.  
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2026.115467>
- Wang, W., Zhao, Y., Cheng, Y., Wang, S., Jiao, W., & Yan, S. (2026b). Porosity-grouting-luminescence coupling mechanism and durability of semi-flexible self-luminous pavements. *Case Studies in Construction Materials*, 24, e05924.  
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2026.e05924>
- Wei, J., Xiao, Y., & Ling, T.-C. (2024). Enchantment of architectural luminescent-glass mortar properties with encapsulation of white-color powder. *Materials Today Communications*, 38, 108296.  
<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.108296>
- Xiao, Y., Pham, B. T., Guo, M.-Z., & Ling, T.-C. (2022a). Use of luminescent-glass aggregates for the production of decorative architectural mortar. *Journal of Building Engineering*, 50, 104233.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104233>
- Xiao, Y., Pham, B. T., Guo, M.-Z., & Ling, T.-C. (2022b). Influence of luminescent powder type and characteristic on the glow light performance of architectural glass mortar. *Journal of Building Engineering*, 58, 105021.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105021>
- Zhang, F., Xie, Y., Zhao, X., He, Y., Pei, J., Xing, Y., & Zhang, J. (2024). Aluminate long afterglow luminescent materials in road marking field research progress and development: A review. *Buildings*, 14(7), 2152. <https://doi.org/10.3390/buildings14072152>

## Contribución de autoría

Jorge Luis Colunche-Bustamante: Conceptualización, Metodología, Redacción – borrador original. Franklin Jammerly Tapia-Chamaya: Investigación, Curación de datos, Análisis formal. Yelsin Rojas-Carranza: Investigación, Visualización, Validación. Faustino Ruiz-Díaz: Supervisión, Redacción, revisión y edición. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.