

SSTSDS-Vol.4. N1. 077

Carbon dots o puntos de carbono: nanopartículas fluorescentes y sus aplicaciones en bioimagen, sensores y fotocatalisis

Carbon Dots: Fluorescent Nanoparticles and Their Applications in Bioimaging, Sensors, and Photocatalysis

Autores:

Marlon Jonathan Estrella Semblantes
Unidad Educativa San José “La Salle”
Latacunga – Ecuador
marlonestrella2994@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-5543-8193>

Jhoni Javier Hoyos Caicedo
Independiente
Ambato – Ecuador
jhonihoys@outlook.com
<https://orcid.org/0009-0002-4425-9869>

Fátima Elizabeth Ruiz Mora
Independiente
Ambato – Ecuador
faty14@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-3300-8182>

Erika Vanessa Telenchana Pérez
Independiente
Ambato – Ecuador
eri_vane95@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5965-199X>

Francisco Javier Pilapaña Muñoz
Escuela de Educación Básica Ricardo Ortiz Terán
Pichincha – Ecuador
javierpilapana98@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-3104-3783>

Autor de correspondencia: Marlon Jonathan Estrella Semblantes, marlonestrella2994@gmail.com

Recepción: 28-abril-2026

Aceptación: 01-junio-2026

Publicación: 05-julio-2026



Cómo citar este artículo:

Estrella Semblantes, M. J., Hoyos Caicedo, J. J., Ruiz Mora, F. E., Telenchana Pérez, E. V., & Pilapaña Muñoz, F. J. (2026). Carbon dots o puntos de carbono: nanopartículas fluorescentes y sus aplicaciones en bioimagen, sensores y fotocatalisis. *Sage Sphere of Technology, Sciences, Discoveries And Society*, 4(1), 1-23. <https://doi.org/10.63688/5rz6ct41>

© 2026; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea correctamente citada.



RESUMEN

Los carbon dots o puntos de carbono son nanomateriales fluorescentes que han despertado gran interés científico debido a sus propiedades ópticas, baja toxicidad, biocompatibilidad, estabilidad fotoquímica y facilidad de funcionalización superficial. Esta revisión sistemática tuvo como objetivo analizar los principales aportes científicos sobre los carbon dots como nanopartículas fluorescentes, considerando sus métodos de síntesis, propiedades de fotoluminiscencia y aplicaciones en áreas como biosensores, bioimagen, seguridad alimentaria, fotocatalisis, optoelectrónica y biomedicina. La metodología se basó en la revisión de literatura científica publicada entre 2020 y 2026, siguiendo las directrices PRISMA 2020. Los resultados evidencian que la síntesis verde, el dopaje con heteroátomos y el control de los grupos funcionales superficiales son aspectos clave para mejorar la eficiencia fluorescente de estos nanomateriales. Asimismo, se identificó que los carbon dots presentan un alto potencial para la detección de contaminantes, biomoléculas, antibióticos, pesticidas e iones metálicos. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la reproducibilidad de la síntesis, la purificación, el control del tamaño y la evaluación de su seguridad a largo plazo.

Palabras clave: carbon dots; nanopartículas fluorescentes; fotoluminiscencia; bioimagen.

ABSTRACT

Carbon dots are fluorescent nanomaterials that have attracted significant scientific interest due to their optical properties, low toxicity, biocompatibility, photochemical stability, and easy surface functionalization. This systematic review aimed to analyze the main scientific contributions related to carbon dots as fluorescent nanoparticles, considering their synthesis methods, photoluminescence properties, and applications in areas such as biosensors, bioimaging, food safety, photocatalysis, optoelectronics, and biomedicine. The methodology was based on a review of scientific literature published between 2020 and 2026, following the PRISMA 2020 guidelines. The results show that green synthesis, heteroatom doping, and surface functional group control are key aspects for improving the fluorescent efficiency of these nanomaterials. In addition, carbon dots were identified as promising tools for detecting contaminants, biomolecules, antibiotics, pesticides, and metal ions. However, challenges remain regarding synthesis reproducibility, purification, size control, and long-term safety evaluation.

Keywords: carbon dots; fluorescent nanoparticles; photoluminescence; bioimaging.



1. INTRODUCCIÓN

Los carbon dots o puntos de carbono constituyen una clase reciente de nanomateriales fluorescentes basados en carbono que ha generado amplio interés científico por sus propiedades ópticas, químicas y biológicas. Estas nanopartículas se caracterizan por su tamaño nanométrico, fluorescencia ajustable, buena dispersión en medios acuosos, baja toxicidad, biocompatibilidad, estabilidad fotoquímica y facilidad de modificación superficial. Debido a estas características, los carbon dots se consideran materiales versátiles para aplicaciones en bioimagen, sensores, fotocatalisis, dispositivos optoelectrónicos, análisis ambiental y nanomedicina (Liu et al., 2020; Cui et al., 2021; Ozyurt et al., 2023; Liu et al., 2024).

A diferencia de otros puntos cuánticos tradicionales, que pueden contener metales pesados o presentar mayores riesgos de toxicidad, los carbon dots destacan por ser una alternativa más segura, económica y ambientalmente favorable. Su capacidad de emitir luz bajo diferentes longitudes de onda permite utilizarlos como nanopartículas fluorescentes en sistemas de detección, marcaje celular, imágenes biomédicas y fabricación de materiales luminiscentes. En este sentido, investigaciones recientes han demostrado que el control del tamaño, la estructura del núcleo de carbono, los grupos funcionales superficiales y el dopaje con heteroátomos influye directamente en la intensidad, color y estabilidad de la fluorescencia (Wang et al., 2020; He et al., 2022; Kumar et al., 2022; Al Saidi et al., 2026).

El desarrollo de estos nanomateriales también se relaciona con la búsqueda de métodos de síntesis más simples, económicos y sostenibles. En la literatura se reconocen principalmente dos rutas de obtención: los métodos **top-down**, que fragmentan materiales carbonosos de mayor tamaño, y los métodos **bottom-up**, que construyen las nanopartículas a partir de moléculas orgánicas pequeñas. En los últimos años, ha cobrado importancia la síntesis verde de carbon dots a partir de biomasa, residuos agrícolas, compuestos renovables y precursores de bajo costo, debido a que estos procesos reducen el impacto ambiental y favorecen la producción de materiales funcionales con aplicaciones tecnológicas (Kang et al., 2020; Chahal et al., 2021; Ozyurt et al., 2023).

Las aplicaciones de los carbon dots son amplias y continúan creciendo. En el campo de los sensores, se emplean para detectar iones metálicos, contaminantes, antibióticos, pesticidas,



biomoléculas y cambios de pH, gracias a los cambios que puede presentar su fluorescencia ante diferentes analitos. En el ámbito biomédico, se han estudiado como herramientas para bioimagen, diagnóstico, administración de fármacos, terapia fotodinámica y plataformas teranósticas. Asimismo, su uso en seguridad alimentaria y monitoreo ambiental resulta relevante porque permite desarrollar métodos de detección más rápidos, sensibles y de menor costo frente a técnicas convencionales (Tian et al., 2023; Salvi et al., 2024; Zheng et al., 2025; Al Saidi et al., 2026).

Sin embargo, a pesar de sus ventajas, el estudio de los carbon dots todavía presenta desafíos científicos importantes. Entre ellos se encuentran la comprensión precisa de sus mecanismos de fotoluminiscencia, la reproducibilidad de la síntesis, el control del tamaño y la morfología, la mejora del rendimiento cuántico, la estabilidad en condiciones reales y la evaluación de su seguridad a largo plazo. Estos aspectos son fundamentales para que los carbon dots puedan pasar de aplicaciones experimentales de laboratorio hacia usos industriales, ambientales y biomédicos más consolidados (Chahal et al., 2021; He et al., 2022; Liu et al., 2024; Al Saidi et al., 2026).

En este sentido, el estudio de los carbon dots como nanopartículas fluorescentes resulta relevante porque permite analizar un material emergente con alto potencial científico y tecnológico. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo analizar los aportes científicos recientes sobre los carbon dots, identificando sus principales métodos de síntesis, propiedades fluorescentes, aplicaciones actuales y desafíos para futuras investigaciones en áreas como la biomedicina, el monitoreo ambiental, la seguridad alimentaria y la nanotecnología.

2. MARCO TEÓRICO

Carbon dots o puntos de carbono

Los carbon dots, también conocidos como puntos de carbono o puntos cuánticos de carbono, son nanomateriales fluorescentes de base carbonosa que generalmente presentan tamaños inferiores a los 10 nanómetros. Se caracterizan por su alta solubilidad en agua, baja toxicidad, buena biocompatibilidad, estabilidad fotoquímica y facilidad para modificar su superficie mediante grupos funcionales. Estas propiedades los han convertido en una alternativa atractiva frente a los puntos cuánticos semiconductores tradicionales, los cuales pueden



contener metales pesados y presentar mayores riesgos ambientales o biológicos (Mansuriya & Altintas, 2021; Azam et al., 2021).

Desde el punto de vista estructural, los carbon dots son considerados nanomateriales de dimensión cero, formados principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y, en algunos casos, heteroátomos como nitrógeno, azufre, fósforo o boro. Su núcleo puede presentar regiones amorfas o gráficas, mientras que su superficie contiene grupos funcionales como hidroxilos, carboxilos, carbonilos y aminas. Esta composición superficial es importante porque influye directamente en su fluorescencia, estabilidad, dispersión en medios acuosos y capacidad de interacción con otras moléculas (Miao et al., 2020; Maan et al., 2026).

Métodos de síntesis de los carbon dots

La síntesis de los carbon dots puede realizarse mediante dos enfoques principales: top-down y bottom-up. El método top-down consiste en fragmentar materiales carbonosos de mayor tamaño, como grafito, nanotubos de carbono o carbón activado, hasta obtener nanopartículas más pequeñas. En cambio, el método bottom-up forma los carbon dots a partir de moléculas orgánicas pequeñas mediante procesos como carbonización, polimerización o condensación. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran la síntesis hidrotermal, solvotermal, por microondas, pirólisis, oxidación química y métodos electroquímicos (El-Shabasy et al., 2021; Magesh et al., 2022; Yadav et al., 2023).

En los últimos años, ha cobrado mayor relevancia la síntesis verde de carbon dots, la cual utiliza fuentes naturales, biomasa, residuos agrícolas, alimentos, plantas o materiales orgánicos renovables como precursores. Esta ruta es importante porque permite obtener nanopartículas fluorescentes de manera más económica, menos tóxica y ambientalmente sostenible. Además, el uso de bioprecursores puede aportar grupos funcionales naturales que favorecen la fluorescencia y la aplicación de los carbon dots en sensores ópticos y sistemas biomédicos (Ullal et al., 2022; El-Shabasy et al., 2021).

Propiedades fluorescentes

La fluorescencia es una de las propiedades más importantes de los carbon dots. Estos nanomateriales pueden absorber luz en una determinada longitud de onda y emitir luz visible, lo que permite utilizarlos como sondas fluorescentes. Su emisión puede variar desde el azul hasta el rojo o incluso regiones cercanas al infrarrojo, dependiendo de factores como el tamaño de partícula, la estructura del núcleo, el grado de carbonización, el dopaje



con heteroátomos y los grupos funcionales superficiales (Azam et al., 2021; Qureshi et al., 2024).

El mecanismo exacto de fotoluminiscencia de los carbon dots todavía se encuentra en discusión. Sin embargo, se reconoce que intervienen fenómenos como el confinamiento cuántico, los estados superficiales, los defectos estructurales y la presencia de grupos emisores en la superficie. Por ello, el control de las condiciones de síntesis y la purificación del material son aspectos fundamentales para obtener una fluorescencia estable, reproducible y útil en aplicaciones científicas (Ullal et al., 2024; Maan et al., 2026).

Aplicaciones de los carbon dots

Los carbon dots tienen una amplia variedad de aplicaciones debido a su fluorescencia, baja toxicidad y facilidad de funcionalización. En el área de biosensores, se utilizan para detectar biomoléculas, enzimas, ADN, proteínas, glucosa y otros compuestos de interés biológico. También se emplean en sensores químicos para identificar iones metálicos, contaminantes, pesticidas, antibióticos y cambios de pH mediante variaciones en la intensidad o el color de la fluorescencia (Ji et al., 2020; Qureshi et al., 2024).

En el campo biomédico, los carbon dots han sido estudiados como agentes para bioimagen, diagnóstico, liberación de fármacos, terapia fotodinámica, terapia fototérmica y sistemas teranósticos. Su baja toxicidad relativa, buena compatibilidad celular y capacidad para emitir fluorescencia los convierten en candidatos prometedores para observar células, tejidos y procesos biológicos. Sin embargo, para su aplicación clínica aún se requieren estudios más profundos sobre toxicidad, biodistribución, eliminación del organismo y seguridad a largo plazo (Das et al., 2024; Maan et al., 2026).

Además, estos nanomateriales también presentan potencial en catálisis, fotocatálisis, optoelectrónica, conversión de energía y remediación ambiental. Su capacidad para transferir electrones, absorber luz y participar en reacciones químicas permite emplearlos como catalizadores o como componentes de materiales híbridos. En este sentido, los compuestos basados en carbon dots han sido investigados para degradar contaminantes, mejorar reacciones orgánicas y desarrollar dispositivos luminiscentes más sostenibles (Chen et al., 2020; Yadav et al., 2023).

Desafíos actuales



A pesar de sus ventajas, los carbon dots todavía enfrentan varios desafíos científicos. Uno de los principales problemas es la falta de estandarización en los métodos de síntesis, purificación y caracterización. Diferentes condiciones de temperatura, tiempo de reacción, solventes y precursores pueden generar carbon dots con propiedades muy distintas, lo que dificulta la comparación entre estudios. Asimismo, la presencia de subproductos fluorescentes puede alterar los resultados si el material no es purificado adecuadamente (Ullal et al., 2024; Maan et al., 2026).

Otro desafío importante es comprender con mayor precisión el origen de la fluorescencia y mejorar el rendimiento cuántico, especialmente en emisiones rojas o cercanas al infrarrojo, que son más útiles para bioimagen profunda. También es necesario evaluar su comportamiento en condiciones reales, su estabilidad, toxicidad, escalabilidad de producción y viabilidad industrial. Por ello, la investigación actual busca optimizar la síntesis, controlar la estructura superficial y desarrollar carbon dots más seguros, reproducibles y funcionales para aplicaciones tecnológicas, ambientales y biomédicas (Magesh et al., 2022; Qureshi et al., 2024; Maan et al., 2026).

3. METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló mediante una revisión sistemática de literatura científica orientada al análisis de los carbon dots o puntos de carbono como nanopartículas fluorescentes. Esta metodología permitió recopilar, evaluar y sintetizar de manera rigurosa la evidencia científica disponible sobre sus métodos de síntesis, propiedades ópticas, mecanismos de fotoluminiscencia y principales aplicaciones en áreas como bioimagen, biosensores, fotocátalisis, optoelectrónica, seguridad alimentaria y biomedicina. El estudio adoptó un enfoque cualitativo de carácter descriptivo-analítico, centrado en la identificación de tendencias, avances científicos, contribuciones tecnológicas y limitaciones actuales relacionadas con el uso de los carbon dots (Liu et al., 2020; Ozyurt et al., 2023; Qureshi et al., 2024).

La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos académicas reconocidas por su calidad científica, entre ellas Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, ACS Publications, Royal Society of Chemistry, PubMed, MDPI y Google Scholar. Estas fuentes fueron seleccionadas debido a su amplia cobertura de investigaciones relacionadas con



nanotecnología, nanomateriales de carbono, química de materiales, fluorescencia, sensores, bioimagen y aplicaciones biomédicas.

La estrategia de búsqueda se estructuró mediante palabras clave en español e inglés combinadas con operadores booleanos como AND y OR. Entre los términos utilizados se incluyeron: “carbon dots”, “carbon quantum dots”, “puntos de carbono”, “puntos cuánticos de carbono”, “fluorescent nanoparticles”, “nanopartículas fluorescentes”, “photoluminescence”, “fluorescence mechanism”, “green synthesis”, “biomass carbon dots”, “bioimaging”, “biosensing”, “fluorescent sensing”, “photocatalysis”, “biomedical applications” y “food analysis”. Las ecuaciones de búsqueda fueron adaptadas a las características de cada base de datos con la finalidad de optimizar la recuperación de estudios relevantes.

Ecuaciones de búsqueda

Con el fin de garantizar una búsqueda sistemática y reproducible, se formularon ecuaciones de búsqueda específicas adaptadas a la sintaxis de cada base de datos consultada. Las principales estrategias utilizadas fueron las siguientes:

- **Scopus y Web of Science**

"carbon dots" AND "fluorescent nanoparticles" AND ("bioimaging" OR "biosensing" OR "photocatalysis")

- **ScienceDirect y SpringerLink**

("carbon dots" OR "carbon quantum dots") AND photoluminescence AND (bioimaging OR biosensing OR photocatalysis)

- **PubMed**

("carbon dots" OR "carbon quantum dots") AND fluorescence AND (bioimaging OR biosensing OR biomedical applications)

- **Google Scholar**

"carbon dots" "fluorescent nanoparticles" bioimaging biosensing photocatalysis

Asimismo, se realizaron búsquedas complementarias en español mediante la ecuación:

"puntos de carbono" AND "nanopartículas fluorescentes" AND (bioimagen OR biosensores OR fotocatalisis)



Estas ecuaciones fueron adaptadas a los requerimientos de cada base de datos con el propósito de maximizar la recuperación de literatura científica relevante y minimizar la omisión de estudios pertinentes.

La búsqueda se limitó a publicaciones comprendidas entre los años 2020 y 2026. Este periodo fue seleccionado porque concentra investigaciones recientes sobre la evolución de los carbon dots como nanomateriales fluorescentes, incluyendo avances en síntesis verde, control de propiedades ópticas, dopaje con heteroátomos, aplicaciones en sensores, bioimagen, seguridad alimentaria y biomedicina. Dentro de este periodo destacan los aportes de Liu et al. (2020), Kang et al. (2020), Ji et al. (2020), Miao et al. (2020), Chahal et al. (2021), He et al. (2022), Wang et al. (2022), Tian et al. (2023), Ozyurt et al. (2023), Liu et al. (2024), Qureshi et al. (2024), Bian et al. (2025) y Al Saidi et al. (2026), quienes analizan aspectos fundamentales sobre síntesis, fotoluminiscencia, dopaje, funcionalización, biosensores, bioimagen, aplicaciones alimentarias, biomedicina y desafíos actuales de estos nanomateriales.

Los criterios de inclusión contemplaron artículos científicos publicados en revistas indexadas, investigaciones revisadas por pares, revisiones científicas, estudios experimentales y artículos relacionados directamente con los carbon dots, sus propiedades fluorescentes, métodos de síntesis, mecanismos de emisión y aplicaciones tecnológicas, ambientales o biomédicas. Asimismo, se incluyeron publicaciones disponibles en texto completo, redactadas en español o inglés, publicadas entre 2020 y 2026 y que contaran con DOI funcional.

Por otro lado, los criterios de exclusión consideraron documentos duplicados, tesis, libros, capítulos de libros, actas de congresos, artículos sin DOI funcional, publicaciones fuera del periodo establecido, estudios que no abordaran directamente los carbon dots y documentos centrados en otros nanomateriales sin relación directa con nanopartículas fluorescentes de carbono. También fueron excluidos aquellos estudios con acceso incompleto o con información insuficiente para ser analizada dentro de la revisión.

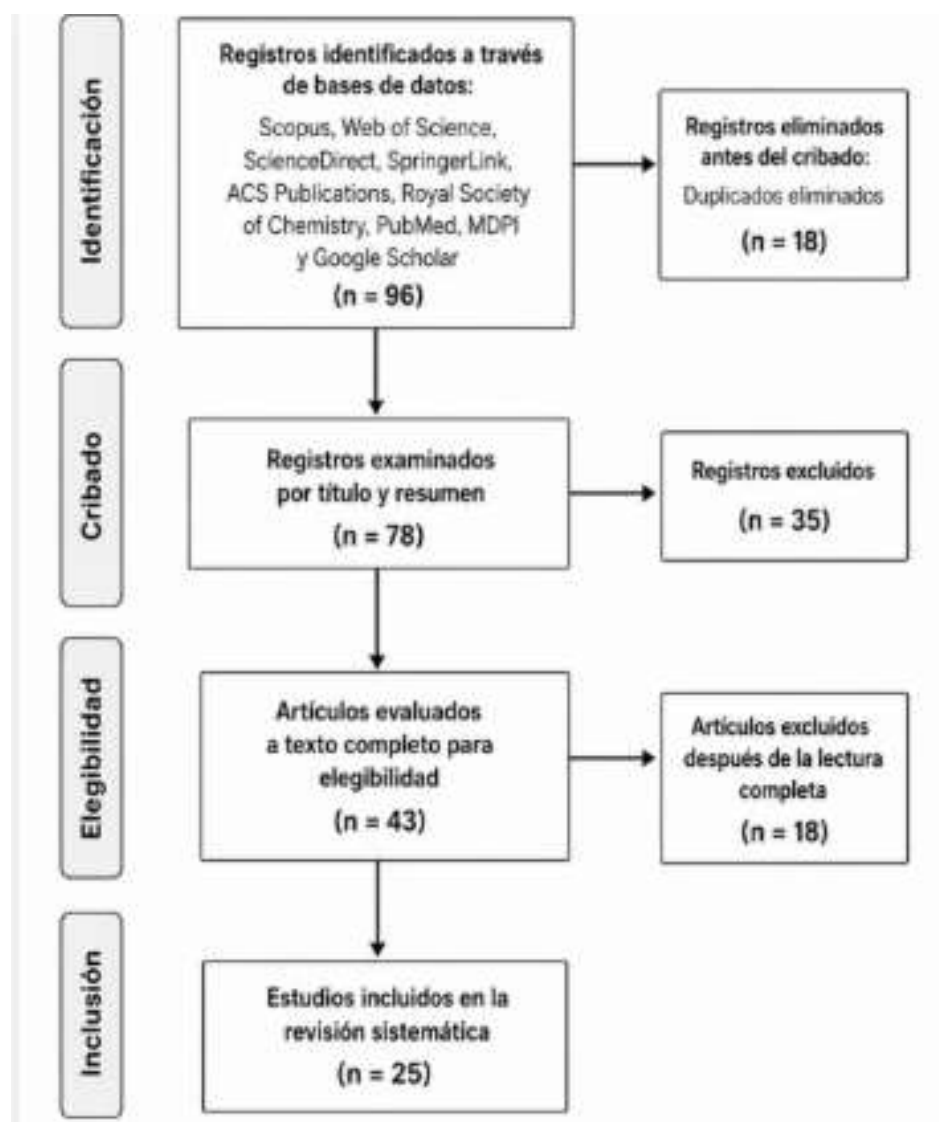
El proceso de selección de los estudios siguió las directrices de la declaración PRISMA 2020 propuesta por Page et al. (2021), la cual permite organizar de manera clara y transparente las fases de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios en una revisión sistemática. En una primera fase se identificaron los registros potencialmente



relevantes mediante la búsqueda en las bases de datos seleccionadas. Posteriormente, se eliminaron los registros duplicados y se realizó la revisión de títulos y resúmenes para determinar su pertinencia respecto al objetivo de investigación. En una segunda etapa se evaluaron los textos completos de los artículos preseleccionados, verificando el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión establecidos.

Figura 1.

Diagrama de flujo PRISMA 2020



Nota. Adaptado de la declaración PRISMA 2020. El proceso permitió identificar 96 registros potencialmente relevantes, de los cuales 25 estudios cumplieron los criterios de inclusión y conformaron la muestra final analizada en la presente revisión sistemática.



Proceso de selección de los estudios

En total se identificaron 96 registros potencialmente relevantes mediante la búsqueda en bases de datos científicas y otras fuentes documentales. Tras la eliminación de 18 registros duplicados, se examinaron 78 estudios mediante la revisión de títulos y resúmenes. Posteriormente, 43 artículos fueron evaluados a texto completo para determinar su elegibilidad. Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se excluyeron 18 estudios por no cumplir completamente con los criterios establecidos. Finalmente, se seleccionaron 25 estudios científicos que conformaron la muestra final de la revisión sistemática.

Los estudios incluidos abordaron aspectos relacionados con la síntesis de carbon dots, síntesis verde a partir de biomasa, propiedades fluorescentes, mecanismos de fotoluminiscencia, dopaje con heteroátomos, aplicaciones en biosensores, bioimagen, seguridad alimentaria, fotocátalisis, optoelectrónica y biomedicina. Estos ejes permitieron organizar la información científica reciente y analizar los principales aportes de los carbon dots como nanopartículas fluorescentes, considerando su utilidad en la detección biológica, el control de contaminantes, el análisis de alimentos y el desarrollo de plataformas biomédicas más seguras y funcionales (Ji et al., 2020; Miao et al., 2020; Wang et al., 2022; Tian et al., 2023).

Análisis de la información

Una vez seleccionados los estudios, se realizó un análisis cualitativo mediante categorización temática. Los artículos fueron organizados en función de los principales ejes de análisis identificados en la literatura científica: fundamentos conceptuales de los carbon dots, métodos de síntesis, propiedades fluorescentes, mecanismos de fotoluminiscencia, síntesis verde, aplicaciones en sensores, aplicaciones biomédicas, aplicaciones ambientales, limitaciones actuales y desafíos futuros.

El análisis permitió identificar que los carbon dots son nanomateriales de alto interés científico debido a su fluorescencia ajustable, baja toxicidad, biocompatibilidad, estabilidad fotoquímica y facilidad de funcionalización superficial. Asimismo, se evidenció que su aplicación continúa expandiéndose en campos como la detección de contaminantes, bioimagen celular, análisis de alimentos, fotocátalisis, diagnóstico biomédico y desarrollo de materiales optoelectrónicos. Sin embargo, también se identificaron desafíos



relacionados con la reproducibilidad de la síntesis, la purificación, el control del tamaño, la comprensión exacta de los mecanismos de emisión y la evaluación de su seguridad a largo plazo (He et al., 2022; Bian et al., 2025; Al Saidi et al., 2026).

4. RESULTADOS

El análisis de los 25 estudios seleccionados permitió identificar tendencias, enfoques y contribuciones relacionadas con los carbon dots o puntos de carbono como nanopartículas fluorescentes. A partir de la revisión sistemática, los artículos fueron organizados en cinco categorías temáticas: fundamentos y propiedades generales de los carbon dots, métodos de síntesis y síntesis verde, mecanismos de fotoluminiscencia y propiedades ópticas, aplicaciones en sensores y bioimagen, y desafíos actuales para su aplicación científica y tecnológica. Esta clasificación permitió comprender los principales aportes de la literatura científica reciente y reconocer las limitaciones existentes para el desarrollo, estandarización y aplicación de estos nanomateriales.

Tabla 1
Fundamentos y propiedades generales de los carbon dots

Autor	Enfoque	Aporte a la investigación
Liu et al. (2020)	Nanomateriales de carbono	Describen los carbon dots como una nueva clase de nanomateriales con aplicaciones amplias debido a su fluorescencia, biocompatibilidad y facilidad de funcionalización.
Cui et al. (2021)	Síntesis, propiedades y aplicaciones	Sistematizan las características principales de los carbon dots, destacando su estabilidad, baja toxicidad y utilidad en diferentes campos tecnológicos.
Ozyurt et al. (2023)	Revisión general	Analizan las propiedades, métodos de obtención y aplicaciones de los carbon dots, resaltando su potencial como nanopartículas fluorescentes versátiles.
Qureshi et al. (2024)	Nanomateriales funcionales	Presentan los carbon dots como materiales útiles en sensores, imagen, fotónica y energía debido a sus propiedades ópticas ajustables.



Nota. Principales aportes relacionados con la definición, propiedades generales y relevancia científica de los carbon dots. Elaboración propia.

Los estudios coinciden en que los carbon dots son nanomateriales de gran interés por su tamaño nanométrico, fluorescencia ajustable, buena dispersión en medios acuosos, baja toxicidad y posibilidad de modificación superficial. Estas propiedades explican su creciente aplicación en áreas como sensores, bioimagen, fotocatalisis, optoelectrónica y biomedicina.

Tabla 2

Métodos de síntesis y síntesis verde de carbon dots

Autor	Enfoque	Aporte a la investigación
Kang et al. (2020)	Carbon dots desde residuos de biomasa	Evidencian que los residuos orgánicos pueden ser utilizados como precursores económicos y sostenibles para obtener carbon dots fluorescentes.
Chahal et al. (2021)	Síntesis verde	Destacan la importancia de emplear métodos ecológicos y precursores naturales para reducir el impacto ambiental de la síntesis.
El-Shabasy et al. (2021)	Técnicas de fabricación	Revisan métodos de obtención como síntesis hidrotermal, solvotermal, pirólisis y microondas para la producción de carbon quantum dots.
Magesh et al. (2022)	Avances en síntesis	Describen rutas recientes de síntesis y su relación con aplicaciones en sensores, bioimagen, energía y supercapacitores.
Liu et al. (2024)	Estrategias de síntesis	Analizan los avances en el control de la estructura, tamaño y funcionalización de los carbon dots mediante diferentes estrategias sintéticas.

Nota. Aportes relacionados con rutas de síntesis, síntesis verde y control estructural de los carbon dots. Elaboración propia.

Los resultados muestran que la síntesis de carbon dots se ha orientado hacia métodos más simples, económicos y sostenibles. En particular, la síntesis verde ha ganado relevancia porque permite aprovechar biomasa, residuos agrícolas y fuentes naturales como precursores, reduciendo costos y favoreciendo aplicaciones ambientales y biomédicas.



Tabla 3*Mecanismos de fotoluminiscencia y propiedades ópticas*

Autor	Enfoque	Aporte a la investigación
Wang et al. (2020)	Fluorescencia multicolor	Desarrollan carbon quantum dots con emisión fluorescente de amplio rango, lo que fortalece su aplicación en materiales luminiscentes.
Miao et al. (2020)	Dopaje con heteroátomos	Explican cómo el dopaje con nitrógeno, azufre, fósforo u otros elementos puede modificar las propiedades ópticas y químicas de los carbon dots.
He et al. (2022)	Mecanismos de fotoluminiscencia	Analizan los posibles mecanismos de emisión, incluyendo estados superficiales, defectos estructurales y efectos del núcleo carbonoso.
Bian et al. (2025)	Purificación y estructura electrónica	Resaltan la importancia de la purificación y del estudio de la estructura electrónica para comprender mejor la fluorescencia de los carbon dots.

Nota. Aportes sobre fluorescencia, dopaje, estructura electrónica y mecanismos de emisión de los carbon dots. Elaboración propia.

Los estudios evidencian que la fotoluminiscencia es una de las propiedades más importantes de los carbon dots. Sin embargo, el mecanismo exacto de emisión todavía no se encuentra completamente definido, ya que depende de factores como el tamaño de partícula, los grupos funcionales superficiales, los defectos estructurales, el grado de carbonización y la presencia de heteroátomos.

Tabla 4*Aplicaciones en sensores, bioimagen y seguridad alimentaria*

Autor	Enfoque	Aporte a la investigación
Ji et al. (2020)	Biosensores	Analizan el uso de carbon dots para la detección de biomoléculas, iones metálicos y compuestos de interés biológico.



Autor	Enfoque	Aporte a la investigación
Azam et al. (2021)	Aplicaciones biomédicas	Explican el potencial de los carbon quantum dots en bioimagen, biosensado y liberación de fármacos.
Wang et al. (2022)	Bioimagen, biosensores y terapias	Revisan aplicaciones biomédicas de los carbon dots en diagnóstico, imagen celular y terapias.
Tian et al. (2023)	Análisis de alimentos	Describen avances en el uso de carbon dots fluorescentes para detectar contaminantes, residuos y compuestos en alimentos.
Zheng et al. (2025)	Detección de antibióticos y pesticidas	Analizan herramientas fluorescentes basadas en carbon dots para identificar residuos de antibióticos y pesticidas.
Al Saidi et al. (2026)	Bioimagen fluorescente	Estudian avances en síntesis, propiedades ópticas y aplicaciones multimodales de carbon dots para bioimagen.

Nota. Aportes relacionados con aplicaciones de los carbon dots en detección, análisis alimentario, bioimagen y biomedicina. Elaboración propia.

Los resultados indican que los carbon dots poseen gran potencial como nanopartículas fluorescentes para aplicaciones en sensores químicos y biológicos. Su fluorescencia puede cambiar frente a determinados analitos, lo que permite detectar iones metálicos, contaminantes, pesticidas, antibióticos y biomoléculas. Además, su baja toxicidad y biocompatibilidad favorecen su uso en bioimagen celular y aplicaciones biomédicas.

Tabla 5

Aplicaciones tecnológicas, fotocatálisis y desafíos actuales

Autor	Enfoque	Aporte a la investigación
Chen et al. (2020)	Catálisis y fotocatálisis	Explican el uso de compuestos basados en carbon dots en procesos catalíticos, fotocatálisis y reacciones químicas.
Kumar et al. (2022)	Fotovoltaica	Analizan avances de los carbon quantum dots en aplicaciones fotovoltaicas y conversión de energía.



Autor	Enfoque	Aporte a la investigación
Yadav et al. (2023)	Aplicaciones catalíticas	Describen la estructura, propiedades y aplicaciones de los carbon quantum dots en síntesis orgánica y catálisis.
Salvi et al. (2024)	Aplicaciones biomédicas	Revisan el uso biomédico de los carbon quantum dots, señalando su potencial y la necesidad de evaluar su seguridad.
Maan et al. (2026)	Innovación biomédica	Analizan mecanismos, aplicaciones, toxicidad, estandarización y posibilidades clínicas de los carbon quantum dots.

Nota. Estudios relacionados con aplicaciones tecnológicas, fotocátalisis, energía, biomedicina y desafíos de implementación. Elaboración propia.

Los hallazgos sugieren que los carbon dots no solo son relevantes por su fluorescencia, sino también por su capacidad para participar en procesos de transferencia electrónica, catálisis, fotocátalisis y conversión de energía. No obstante, la literatura también identifica desafíos importantes, como la falta de estandarización en los métodos de síntesis, la dificultad para controlar el tamaño y la estructura, la purificación del material, la comprensión exacta del mecanismo de fotoluminiscencia y la evaluación de su toxicidad a largo plazo.

En conjunto, los resultados de la revisión sistemática demuestran que los carbon dots constituyen nanomateriales fluorescentes con alto potencial científico y tecnológico. Su versatilidad permite aplicarlos en sensores, bioimagen, seguridad alimentaria, fotocátalisis, energía y biomedicina. Sin embargo, para consolidar su uso a escala industrial y clínica, es necesario fortalecer la reproducibilidad de la síntesis, mejorar el control de sus propiedades ópticas y profundizar en estudios de seguridad, estabilidad y eficiencia en condiciones reales.

5. DISCUSIÓN

Los estudios analizados muestran un consenso creciente respecto al potencial de los carbon dots como nanomateriales fluorescentes para aplicaciones científicas y tecnológicas. En conjunto, la evidencia revisada confirma que la combinación de propiedades ópticas ajustables, biocompatibilidad y facilidad de funcionalización ha impulsado el desarrollo de investigaciones en campos como la bioimagen, los biosensores, la fotocátalisis y la biomedicina (Liu et al., 2020; Ozyurt et al., 2023; Qureshi et al., 2024). Este



comportamiento refleja una evolución sostenida del área durante los últimos años y evidencia el interés por desarrollar materiales más eficientes y sostenibles.

No obstante, aunque existe consenso sobre el potencial de estos nanomateriales, los estudios difieren en los aspectos considerados prioritarios para su optimización. Mientras algunos autores centran sus investigaciones en el desarrollo de estrategias de síntesis verde mediante biomasa y precursores renovables (Kang et al., 2020; Chahal et al., 2021), otros enfatizan la importancia del control estructural, el dopaje con heteroátomos y la modificación superficial para mejorar las propiedades ópticas y el rendimiento fluorescente (Miao et al., 2020; He et al., 2022). Estas diferencias ponen de manifiesto que el avance del campo depende tanto de la obtención de materiales sostenibles como del perfeccionamiento de sus propiedades fisicoquímicas.

La revisión también permitió identificar vacíos de investigación que limitan la transferencia de los carbon dots hacia aplicaciones de mayor escala. Entre ellos destacan la ausencia de protocolos estandarizados para la síntesis y caracterización, las dificultades para reproducir resultados entre diferentes investigaciones y la falta de una comprensión completa de los mecanismos de fotoluminiscencia. Asimismo, persisten interrogantes relacionadas con la estabilidad, la toxicidad y el comportamiento de estos nanomateriales en condiciones reales, aspectos que continúan siendo objeto de estudio (Bian et al., 2025; Liu et al., 2024).

En cuanto a las perspectivas futuras, la evidencia científica sugiere que las investigaciones deberán orientarse hacia el desarrollo de metodologías de síntesis más reproducibles, la optimización del rendimiento fluorescente y la evaluación integral de la seguridad biológica. Estos avances favorecerán la incorporación de los carbon dots en aplicaciones biomédicas, ambientales e industriales, contribuyendo al desarrollo de tecnologías más eficientes, seguras y sostenibles.

6. CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática permitió cumplir el objetivo de analizar los principales avances científicos relacionados con los carbon dots como nanopartículas fluorescentes, identificando sus características, métodos de síntesis, aplicaciones y desafíos reportados en la literatura publicada entre 2020 y 2026.



La evidencia analizada confirma que los carbon dots constituyen una de las familias de nanomateriales con mayor proyección científica debido a la combinación de sus propiedades ópticas, biocompatibilidad, estabilidad y versatilidad funcional. Estas características respaldan su creciente aplicación en áreas como la bioimagen, los sensores, la fotocatalisis, la seguridad alimentaria y la biomedicina, consolidándolos como materiales de interés para el desarrollo de nuevas tecnologías.

Finalmente, la revisión evidencia que aún persisten desafíos relacionados con la estandarización de los métodos de síntesis y caracterización, la reproducibilidad experimental, la comprensión de los mecanismos de fotoluminiscencia y la evaluación de la seguridad a largo plazo. Superar estas limitaciones será determinante para favorecer la transferencia de los carbon dots desde el ámbito experimental hacia aplicaciones industriales, ambientales y clínicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al Saidi, A. K., Ul-Islam, M., Ahmad, M. W., Al-Shannaq, R., & Shehzad, A. (2026). Carbon dots for fluorescence bioimaging: Advances in synthesis, optical properties, and multimodal applications. *Results in Chemistry*, 21, Article 103089. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2026.103089>
- Azam, N., Ali, M. N., & Khan, T. J. (2021). Carbon quantum dots for biomedical applications: Review and analysis. *Frontiers in Materials*, 8, Article 700403. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.700403>
- Chahal, S., Macairan, J. R., Yousefi, N., Tufenkji, N., & Naccache, R. (2021). Green synthesis of carbon dots and their applications. *RSC Advances*, 11, 25354–25363. <https://doi.org/10.1039/D1RA04718C>
- Chen, B. B., Liu, M. L., & Huang, C. Z. (2020). Carbon dot-based composites for catalytic applications. *Green Chemistry*, 22(13), 4034–4054. <https://doi.org/10.1039/D0GC01014F>
- Cui, L., Ren, X., Sun, M., Liu, H., & Xia, L. (2021). Carbon dots: Synthesis, properties and applications. *Nanomaterials*, 11(12), Article 3419. <https://doi.org/10.3390/nano11123419>



- Das, S., Mondal, S., & Ghosh, D. (2024). Carbon quantum dots in bioimaging and biomedicines. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, Article 1333752. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1333752>
- El-Shabasy, R. M., Elsadek, M. F., Ahmed, B. M., Farahat, M. F., Mosleh, K. N., & Taher, M. M. (2021). Recent developments in carbon quantum dots: Properties, fabrication techniques, and bio-applications. *Processes*, 9(2), Article 388. <https://doi.org/10.3390/pr9020388>
- He, C., Xu, P., Zhang, X., & Long, W. (2022). The synthetic strategies, photoluminescence mechanisms and promising applications of carbon dots: Current state and future perspective. *Carbon*, 186, 91–127. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.10.002>
- Ji, C., Zhou, Y., Leblanc, R. M., & Peng, Z. (2020). Recent developments of carbon dots in biosensing: A review. *ACS Sensors*, 5(9), 2724–2741. <https://doi.org/10.1021/acssensors.0c01556>
- Kang, C., Huang, Y., Yang, H., Yan, X. F., & Chen, Z. P. (2020). A review of carbon dots produced from biomass wastes. *Nanomaterials*, 10(11), Article 2316. <https://doi.org/10.3390/nano10112316>
- Kumar, P., Dua, S., Kaur, R., Kumar, M., & Bhatt, G. (2022). A review on advancements in carbon quantum dots and their application in photovoltaics. *RSC Advances*, 12, 4714–4759. <https://doi.org/10.1039/D1RA08452F>
- Liu, H., Zhong, X., Pan, Q., Zhang, Y., Deng, W., Zou, G., Hou, H., & Ji, X. (2024). A review of carbon dots in synthesis strategy. *Coordination Chemistry Reviews*, 498, Article 215468. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215468>
- Liu, J., Li, R., & Yang, B. (2020). Carbon dots: A new type of carbon-based nanomaterial with wide applications. *ACS Central Science*, 6(12), 2179–2195. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.0c01306>
- Maan, J. S., Santhosh, M. K., Lee, S. J. X., Leow, N. Z. Y., Mohd Adli, A. S., Tai, C. J. Q., Lim, J. H., Muniandy, Y., Mai, C.-W., Tan, T. L., Chye, S. M., Koh, R. Y., & Lim, C. L. (2026). Carbon quantum dots as versatile nanosystems for biomedical innovation: Mechanisms, applications, and translational prospects. *British Journal of Biomedical Science*, 83, Article 15960. <https://doi.org/10.3389/bjbs.2026.15960>



- Magesh, V., Sundramoorthy, A. K., & Ganapathy, D. (2022). Recent advances on synthesis and potential applications of carbon quantum dots. *Frontiers in Materials*, 9, Article 906838. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.906838>
- Mansuriya, B. D., & Altintas, Z. (2021). Carbon dots: Classification, properties, synthesis, characterization, and applications in health care—An updated review (2018–2021). *Nanomaterials*, 11(10), Article 2525. <https://doi.org/10.3390/nano11102525>
- Miao, S., Liang, K., Zhu, J., Yang, B., Zhao, D., & Kong, B. (2020). Hetero-atom-doped carbon dots: Doping strategies, properties and applications. *Nano Today*, 33, Article 100879. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2020.100879>
- Ozyurt, D., Al Kobaisi, M., Hocking, R. K., & Fox, B. (2023). Properties, synthesis, and applications of carbon dots: A review. *Carbon Trends*, 12, Article 100276. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2023.100276>
- 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, Article n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Qureshi, Z. A., Dabash, H., Ponnammam, D., & Abbas, M. K. G. (2024). Carbon dots as versatile nanomaterials in sensing and imaging: Efficiency and beyond. *Heliyon*, 10(11), Article e31634. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31634>
- Salvi, A., Kharbanda, S., Thakur, P., Shandilya, M., & Thakur, A. (2024). Biomedical application of carbon quantum dots: A review. *Carbon Trends*, 17, Article 100407. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2024.100407>
- Tian, J., An, M., Zhao, X., Wang, Y., & Hasan, M. (2023). Advances in fluorescent sensing carbon dots: An account of food analysis. *ACS Omega*, 8(10), 9031–9039. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07986>
- Ullal, N., Muthamma, K., & Sunil, D. (2022). Carbon dots from eco-friendly precursors for optical sensing application: An up-to-date review. *Chemical Papers*, 76(10), 6097–6127. <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02353-3>



- Wang, B., Cai, H., Waterhouse, G. I. N., Qu, X., Yang, B., & Lu, S. (2022). Carbon dots in bioimaging, biosensing and therapeutics: A comprehensive review. *Small Science*, 2(6), Article 2200012. <https://doi.org/10.1002/smssc.202200012>
- Wang, L., Li, W., Yin, L., Liu, Y., Guo, H., Lai, J., Han, Y., Li, G., Li, M., Zhang, J., Vajtai, R., Ajayan, P. M., & Wu, M. (2020). Full-color fluorescent carbon quantum dots. *Science Advances*, 6(40), Article eabb6772. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb6772>
- Yadav, P. K., Chandra, S., Kumar, V., Kumar, D., & Hasan, S. H. (2023). Carbon quantum dots: Synthesis, structure, properties, and catalytic applications for organic synthesis. *Catalysts*, 13(2), Article 422. <https://doi.org/10.3390/catal13020422>
- Zheng, J., Lian, Z., Liu, T., Ouyang, M., Jiang, S., Yuan, X., & Zhou, L. (2025). A review for carbon dots-based fluorescent sensing tools for antibiotic and pesticide residues: Progress, challenges and perspectives. *Food Control*, 172, Article 111201. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111201>

Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron financiamiento para el desarrollo de esta investigación.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA:

Nombres de autores e iniciales: Marlon Jonathan Estrella Semblantes (MJES), Jhoni Javier Hoyos Caicedo (JJHC), Fátima Elizabeth Ruiz Mora (FERM), Erika Vanessa Telenchana Pérez (EVTP), Francisco Javier Pilapaña Muñoz (FJPM).

1. Conceptualización: (MJES) (JJHC).
2. Curación de datos: (FERM) (EVTP).
3. Análisis formal: (MJES) (FJPM).
4. Adquisición de fondos: No aplica.
5. Investigación: (MJES) (JJHC) (FERM) (EVTP) (FJPM).
6. Metodología: (MJES) (FERM).
7. Administración del proyecto: (MJES) (JJHC).
8. Recursos: (JJHC) (EVTP) (FJPM).
9. Software: (FERM) (FJPM).
10. Supervisión: (MJES) (JJHC).
11. Validación: (FERM) (EVTP) (FJPM).



12. Visualización: (EVTP) (FJPM).
13. Redacción – borrador original: (MJES) (FERM) (EVTP).
14. Redacción – revisión y edición: (MJES) (JJHC) (FERM) (EVTP) (FJPM).

