

Carbon Quantum Dots: Synthesis Using an Accessible Methodology

Puntos cuánticos de carbono: síntesis mediante metodología accesible

Javier Hernández Ferrer

Instituto de Carboquímica-CSIC

jhernandez@icb.csic.es

1. Introducción

Los puntos cuánticos son nanopartículas, normalmente con un tamaño entre 2 y 10 nm, en las que los electrones están cuánticamente confinados en las tres direcciones del espacio, con lo cual desaparece la estructura electrónica de bandas del material, apareciendo una estructura de niveles discretos que depende del tamaño, la forma y la relación de aspecto de la partícula, dando paso a una gran variedad de nuevas propiedades, totalmente distintas a las del material macroscópico.

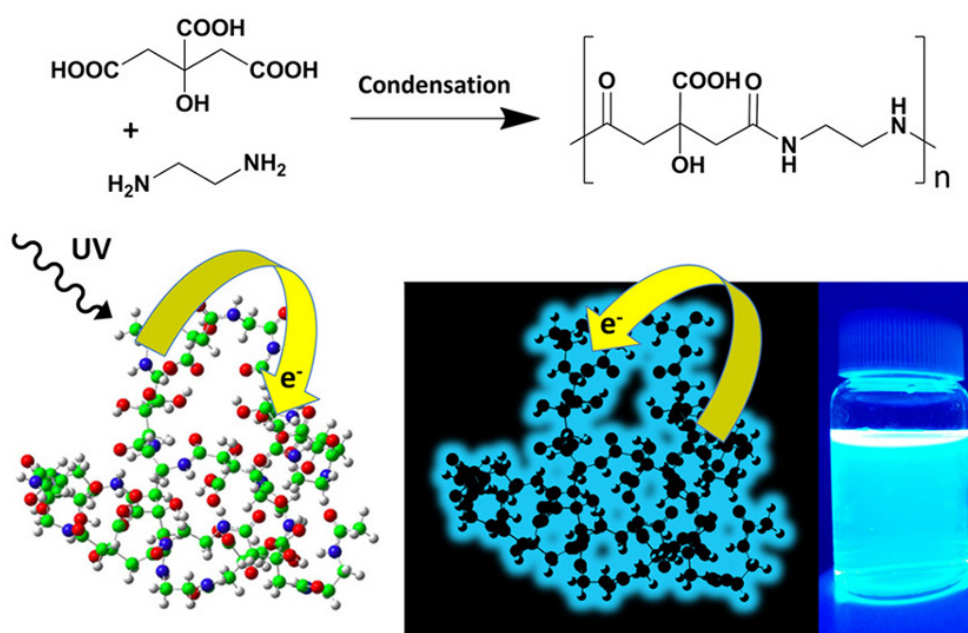
En este caso concreto, los puntos cuánticos de carbono constituyen una clase de nanomateriales con propiedades químicas, electrónicas y ópticas de notable interés, derivadas de su interacción con la radiación electromagnética. Estas características los hacen especialmente atractivos para diversas aplicaciones, como la conversión de energía solar [1] el desarrollo de sensores [2] y aplicaciones en biomedicina [3], entre las investigadas en el Grupo de Nanoestructuras de Carbono y Nanotecnología del Instituto de Carboquímica (ICB-CSIC), además de otras descritas recientemente en la literatura, como la fabricación de LEDs [4].

Una de las estrategias de síntesis de puntos cuánticos de carbono consiste en la condensación

de compuestos ricos en grupos carboxílicos con compuestos que contienen grupos amino. Entre estos compuestos se encuentran biomoléculas como el ácido cítrico, con tres grupos carboxílicos, y los aminoácidos [5], especialmente la lisina, la cual presenta un grupo carboxílico y dos grupos amino. Este proceso de condensación conduce a la formación de redes de poliamida tridimensionales altamente reticuladas, caracterizadas por una elevada rigidez estructural y dimensiones nanométricas (**Esquema 1**). Estas propiedades estructurales, combinadas con su reducido tamaño, confieren a los materiales resultantes una intensa fluorescencia.

En el presente trabajo se describe un procedimiento de síntesis accesible de puntos cuánticos de carbono empleando precursores fácilmente disponibles, no tóxicos, y de origen biológico, como el ácido cítrico y el clorhidrato de L-lisina, mediante un proceso de caramelización térmica controlada en fase acuosa con bajo riesgo.

Advertencia de seguridad: Durante la reacción pueden generarse vapores ácidos. Es imprescindible trabajar en un entorno adecuadamente ventilado, preferiblemente con un sistema extractor en funcionamiento y empleando utensilios adecuados.



Esquema 1. Esquema de la condensación entre ácido cítrico y la etilendiamina descrita en L. Vallan et al. (reproducido con permiso de <https://doi.org/10.1021/jacs.8b06051>).

Scheme 1. Schematic representation of the condensation between citric acid and ethylenediamine described by L. Vallan et al. (reproduced with permission from <https://doi.org/10.1021/jacs.8b06051>).

2. Método experimental

2.1 Reactivos y materiales

Los reactivos y materiales necesarios para la síntesis se pueden observar en la **Figura 1**:

- Ácido cítrico (producto de limpieza común).
- Clorhidrato de L-lisina (suplemento nutricional).
- Agua del grifo.
- Recipiente resistente al calor. En este caso particular, un cazo esmaltado.
- Una cuchara.
- Sistema de calefacción con control de temperatura. En este caso particular, un sistema domestico de cocina por inducción.
- Sistema de ventilación adecuado. En este caso particular, un extractor de cocina.

Para la observación de la fluorescencia se emplea una linterna LED ultravioleta con longitud de onda de emisión de 365 nm y otra con una emisión de 395 nm. Las medidas de fluorescencia y rendimiento cuántico en laboratorio se realizaron en las instalaciones del Instituto de Carboquímica-CSIC utilizando un fluorímetro Horiba Jobin Yvon Fluoromax-P y un espectrofotómetro UV-visible Shimadzu UV-2401 PC.

2.2 Síntesis de puntos cuánticos de carbono

2.2.1 Preparación de la disolución precursora

Se mezcla una cucharada sopera de ácido cítrico y dos cucharadas soperas de clorhidrato de L-lisina (aproximadamente 1:2 en volumen). A continuación, se adicionan 50 mL agua y se agita con la cuchara sopera hasta lograr la completa disolución de los reactivos.

2.2.2 Tratamiento térmico

La disolución obtenida se somete a calentamiento hasta observar una ebullición suave. Durante este proceso, el agua se evapora progresivamente y se producen cambios en la viscosidad, la cual aumenta, y el color del sistema, que evoluciona hacia tonalidades amarillentas y posteriormente anaranjadas o marrones. Estos cambios indican la formación de estructuras carbonosas mediante procesos de condensación y/o carbonización.

Se puede monitorizar la aparición de estos fenómenos apuntando la linterna hacia el interior del cazo, observando una fluorescencia cada vez más intensa (**figura 2**).



Figura 1. Reactivos y materiales necesarios para síntesis de los puntos cuánticos de carbono.

Figure 1. Reagents and materials required for the synthesis of carbon quantum dots.

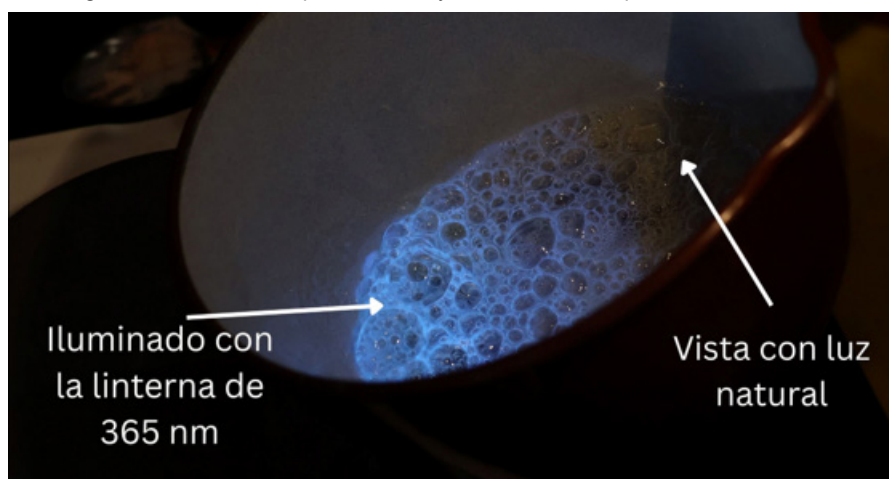


Figura 2. Aspecto del transcurso de la reacción. Vista del producto con luz natural (naranja-marrón) e iluminado con luz LED UV de 365 nm (fluorescente).

Figure 2. Appearance of the reaction as it proceeds. View of the product in natural light (orange-brown) and under 365 nm UV LED light (fluorescent).

3. Resultados y discusión

El material obtenido presenta una intensa fluorescencia azul cuando se irradia con luz ultravioleta de aproximadamente 365 nm (**Figura 3**). La intensidad de la emisión puede verse afectada por la concentración del sistema ("quenching"), siendo recomendable realizar diluciones para facilitar la observación y que el haz de luz ultravioleta penetre la totalidad del vial o recipiente de vidrio empleado.

Los espectros de fluorescencia (**Figura 4**) muestran un máximo de emisión en torno a 450 nm al excitar el material con radiación cercana a 360 nm, con un rendimiento cuántico aproximado del 9%. Estos resultados son coherentes con las observaciones experimentales y con la literatura previamente expuesta en este artículo.

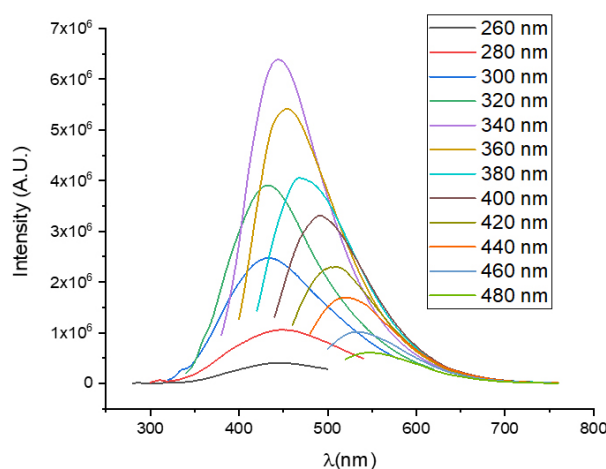


Figura 4. Espectros y mapa de fluorescencia de los puntos cuánticos de carbono obtenidos mediante este método.

Figure 4. Fluorescence spectra and fluorescence excitation-emission map of the carbon quantum dots obtained using this method.

Asimismo, se ha observado que la excitación con fuentes de mayor longitud de onda (por ejemplo, una linterna LED de 395 nm) produce una emisión menos intensa y desplazada hacia longitudes de onda mayores (región verde), lo que pone de manifiesto la dependencia de la emisión con la longitud de onda de excitación mostrada en los espectros (**Figura 5**).



Figura 5. Fluorescencia azul-verdosa observada al iluminar la suspensión con una linterna de 395 nm.

Figure 5. Blue-green fluorescence observed when the suspension was illuminated with a 395 nm LED lamp.



Figura 3. Fluorescencia azul observada al iluminar la suspensión con una linterna LED de 365 nm.

Figure 3. Blue fluorescence observed when the suspension was illuminated with a 365 nm LED lamp.

4. Conclusiones

Se ha descrito un procedimiento sencillo y de bajo riesgo relativo para la síntesis de puntos cuánticos de carbono fluorescentes empleando materiales accesibles y un equipamiento mínimo. El método permite obtener nanomateriales con propiedades ópticas características, en particular fluorescencia en la región visible del espectro.

Este tipo de aproximación experimental facilita la divulgación de conceptos fundamentales de química de materiales y nanociencia, así como la comprensión de fenómenos fotofísicos mediante observación directa.

Una demostración en clave humorística del método aquí expuesto se realizó en directo durante la noche europea de los investigadores celebrada en Zaragoza el 25 de septiembre de 2026 (<https://aragoninvestiga.es/wp-content/uploads/2026/09/Programa-Noche-europea-de-los-investigadores-e-investigadoras-2026.pdf>, **figura 6**), y un vídeo en ese mismo tono puede encontrarse en el siguiente enlace: <https://www.youtube.com/shorts/XNFcibqypxl>.



Figura 5. Imágenes de la Noche europea de los investigadores celebrada en Zaragoza el 25/09/2026.

Figure 5. Photographs from the European Researchers' Night held in Zaragoza on 25 September 2026.

Referencias

[1] Ansón-Casaos A, Hernández-Ferrer J, Vallan L, Xie H, Lira-Cantú M, Benito AM, Maser WK. Functionalized carbon dots on TiO₂ for perovskite photovoltaics and stable photoanodes for water splitting. *Int J Hydrogen Energy* 2021; 46(22):12180-12191.

[2] Vallan L, Urriolabeitia EP, Ruipérez F, Matxain JM, Canton-Vitoria R, Tagmatarchis N, Benito AM, Maser WK. Supramolecular-enhanced charge transfer within entangled polyamide chains as the origin of the universal blue fluorescence of polymer carbon dots. *J Am Chem Soc* 2018; 140(40):12862-12869.

[3] Vallan L, Hernández-Ferrer J, Grasa L, González-Domínguez JM, Martínez MT, Ballesteros B, Urriolabeitia EP, Ansón-Casaos A, Benito AM, Maser WK. Differential properties and effects of fluorescent carbon nanoparticles towards intestinal theranostics. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2020; 185:110612.

[4] Shi Y, Su W, Yuan F, Yuan T, Song X, Han Y, Wei S, Zhang Y, Li Y, Li X, Fan L. Carbon dots for electroluminescent light-emitting diodes: Recent progress and future prospects. *Adv Mater* 2023; 35(44):2210699.

[5] Kolanowska A, Dzido G, Krzywiecki M, Tomczyk MM, Łukowiec D, Ruczka S, Boncel S. Carbon quantum dots from amino acids revisited: Survey of renewable precursors toward high quantum-yield blue and green fluorescence. *ACS Omega* 2022; 7(45):41165-41176.