

Premio Nobel de química 2023 a los puntos cuánticos. Un Descubrimiento Revolucionario con gran Impacto en la Ciencia y la Sociedad

Valle Palomo.

Centro de Investigación Biomédica en Red en Enfermedades Neurodegenerativas, (CIBERNED), Madrid, Spain.

Unidad de Nanobiotecnología Asociada al Centro Nacional de Biotecnología (CNB-CSIC), Madrid, Spain.

El premio nobel de química ha sido galardonado en 2023 a los científicos Alexei Ekimov, Luois Brus y Mounji Bawendi, por su descubrimiento y síntesis de los puntos cuánticos.¹

Los puntos cuánticos son nanopartículas semiconductoras cuyas propiedades dependen del tamaño de la nanopartícula, y que presentan características únicas debido al confinamiento cuántico. En el ámbito de la nanotecnología, este descubrimiento constituye un logro monumental con implicaciones de gran alcance tanto en la ejemplificación del confinamiento cuántico y cambio de propiedades de un material con el tamaño, como en su aplicación en diferentes campos tecnológicos.^{2,3} En este breve artículo se comentará la historia de su descubrimiento y síntesis, ilustrando el impacto que ha tenido y tendrá este descubrimiento para la ciencia y la sociedad.

La trayectoria de los puntos cuánticos comenzó a principios de la década de 1980, cuando Alexey Ekimov sintetizó y caracterizó con éxito los puntos cuánticos embebidos en cristales de tipo Schott, confirmando existencia de efectos de confinamiento cuántico producidos por el dopaje de nanocristales semiconductores.⁴ Este avance marcó la primera síntesis y caracterización tangible de puntos cuánticos, diminutas partículas semiconductores con propiedades electrónicas y ópticas dependientes de su tamaño. Si bien Ekimov llegó a entender el funcionamiento y síntesis, permitiéndole desarrollar cristales de forma práctica, los puntos cuánticos se encontraban atrapados

en los cristales de tipo Schott y por tanto no se podía extender su aplicación a otros campos. Además, este descubrimiento pasó desapercibido en la comunidad científica global debido al escaso intercambio científico de los años de la guerra fría.

Posteriormente, en 1983, Louis Brus publicó la síntesis de en puntos cuánticos de CdS en soluciones coloidales, tras una observación fortuita del efecto de cofinamiento cuántico.⁵ Este trabajo sentó las bases para la potencial utilización práctica de estas nanoestructuras más allá de las predicciones teóricas, abriendo la puerta a una variedad de aplicaciones en áreas como la electrónica, la fotónica y la biomedicina. Además, desarrolló una teoría de polarización dieléctrica que describía el efecto dependiente del tamaño, calculando el tamaño concreto al que se puede observar el mismo y ampliando el estudio a nanopartículas de otro tipo de materiales.^{6,7,8} Si bien el avance de Brus permitió aumentar las aplicaciones de los puntos cuánticos, su síntesis era compleja y poco robusta. Con el trabajo de Brus y otros investigadores de su laboratorio se desarrollaron puntos cuánticos rodeados de una corteza de otro material que confería mejores propiedades, y se consiguió un crecimiento más controlado de los nanocristales, pero

⁵ R. Rossetti, S. Nakahara, L. E. Brus; Quantum size effects in the redox potentials, resonance Raman spectra, and electronic spectra of CdS crystallites in aqueous solution. *J. Chem. Phys.* 15 July 1983; 79 (2): 1086–1088

⁶ L. E. Brus; A simple model for the ionization potential, electron affinity, and aqueous redox potentials of small semiconductor crystallites. *J. Chem. Phys.* 1 December 1983; 79 (11): 5566–5571

⁷ L. E. Brus; Electron–electron and electron–hole interactions in small semiconductor crystallites: The size dependence of the lowest excited electronic state. *J. Chem. Phys.* 1 May 1984; 80 (9): 4403–4409

⁸ R. Rossetti, R. Hull, J. M. Gibson, L. E. Brus; Excited electronic states and optical spectra of ZnS and CdS crystallites in the ≈ 15 to 50 Å size range: Evolution from molecular to bulk semiconducting properties. *J. Chem. Phys.* 1 January 1985; 82 (1): 552–559

¹ <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2023/summary/>

² Montanarella F, Kovalenko MV. Three Millennia of Nanocrystals. *ACS Nano.* 2022 Apr 26;16(4):5085–5102. doi: 10.1021/acsnano.1c11159.

³ Alexander L. Efros and Louis E. Brus. Nanocrystal Quantum Dots: From Discovery to Modern Development. *ACS Nano* 2021 15 (4), 6192–6210

⁴ Quantum size effect in three-dimensional microscopic semiconductor crystals. *Al Ekimo. Jetp Lett.* 34, 345

su síntesis seguía siendo poco reproducible y las partículas eran poco cristalinas debido a la síntesis a temperatura ambiente.^{9, 10}

Fue en este momento, cuando la historia de los puntos cuánticos sufrió un gran avance con las significativas contribuciones de el químico Mounji Bawendi. Comenzó su etapa postdoctoral en el grupo de Luois Brus en 1988 sintetizando puntos cuánticos y participando en publicaciones del grupo para caracterizar su síntesis, pero tomó un papel muy relevante en la optimización de las nanopartículas de CdSe tanto como investigador postdoctoral como investigador principal en el MIT. Uno de las optimizaciones críticas de la síntesis fue llevarla a cabo a alta temperatura, obteniendo cristales con estructura y luminiscencias excelentes.^{11,12} Más adelante, una vez formado su grupo de investigación independiente, Bawendi siguió desarrollando métodos más robustos para la síntesis de puntos cuánticos, publicando en 1993 el trabajo que detalla su síntesis, que es muy similar a la síntesis que se hace hoy en día de estas nanopartículas.¹³ Con esa síntesis se consiguió separar el proceso de nucleación del de crecimiento de las nanopartículas, permitiendo obtener puntos cuánticos de una gran calidad y en disolución. Esto permitió controlar de forma extremadamente precisa el tamaño de las nanopartículas y obtenerlas con una gran homogeneidad. El nivel de control sintético alcanzado y desarrollado por Bawendi fue fundamental para aprovechar todo el potencial de los puntos cuánticos en diversas aplicaciones.

Las aplicaciones de los puntos cuánticos son abundantes, en varios campos.¹⁴ Una de las aplicaciones más avanzadas se encuentra en el campo de los visualizadores o pantallas. Esto es debido a que los puntos cuánticos permiten obtener colores muy precisos, con un alto brillo y gran estabilidad, complementando tipos de iluminaciones eficientes como las de tipo

LED.¹⁵ En 2004 se fundó la empresa QD Vision, que fue adquirida en 2016 por Samsung. La gran inversión de esta compañía ha permitido el desarrollo de las pantallas QLED, que actualmente se comercializan en televisores. Otras compañías están desarrollando este tipo de tecnología para desarrollar este tipo de pantallas para dispositivos portátiles, desarrollando materiales que no necesiten de elementos tóxicos como el Cd.¹⁶

En cuanto al impacto en biomedicina e investigación biomédica, los puntos cuánticos ofrecen propiedades optimizadas que permiten realizar experimentos que no se pueden realizar con fluoróforos tradicionales o proteínas fluorescentes.¹⁷ Por ejemplo, los puntos cuánticos han permitido estudiar dinámicas a nivel de molécula única, construir perfiles multicolor en tejido de pacientes y servir como sensores de biomoléculas consiguiendo aumentar la sensibilidad y número de moléculas detectadas.^{18,19} También su uso combinado con técnicas de imagen presenta un gran potencial para un diagnóstico preciso de enfermedades.²⁰

El descubrimiento de los puntos cuánticos de CdSe revolucionó la comprensión científica de los nanocristales semiconductores y los efectos de confinamiento cuántico. Esta comprensión facilitó el camino para avances en la ciencia de materiales, la física de la materia condensada y la nanotecnología, con múltiples aplicaciones en campos como el de tecnologías de imagen como en biomedicina. Actualmente, el campo se puede considerar joven, ya que se siguen descubriendo diferentes tipos de puntos cuánticos con propiedades novedosas y excelentes, que con el tiempo se irán aplicando a diversos campos tecnológicos. Si bien esta tecnología ya ha llegado a mercado, no queda duda de que las aplicaciones más relevantes están aún por llegar en los próximos años.

Valle Palomo
valle.palomo@imdea.org

⁹ Alivisatos, A. P.; Harris, A. L.; Levinos, N. J.; Steigerwald, M. L.; Brus, L. E. Electronic States of Semiconductor Clusters: Homogeneous and Inhomogeneous Broadening of the Optical Spectrum. *J. Chem. Phys.* 1988, 89, 4001-4011

¹⁰ Kortan, A. R.; Hull, R.; Opila, R. L.; Bawendi, M. G.; Steigerwald, M. L.; Carroll, P. J.; Brus, L. E. Nucleation and Growth of CdSe on ZnS Quantum Crystallite Seeds, and Vice Versa, in Inverse Micelle Media. *J. Am. Chem. Soc.* 1990, 112, 1327-1332

¹¹ Bawendi, M. G.; Kortan, A. R.; Steigerwald, M. L.; Brus, L. E. X-Ray Structural Characterization of Larger CdSe Semiconductor Clusters. *J. Chem. Phys.* 1989, 91, 7282-7290

¹² Bawendi, M. G.; Wilson, W. L.; Rothberg, L.; Carroll, P. J.; Jedju, T. M.; Steigerwald, M. L.; Brus, L. E. Electronic Structure and Photoexcited-Carrier Dynamics in Nanometer-Size CdSe Clusters. *Phys. Rev. Lett.* 1990, 65, 1623-1626

¹³ Murray, C. B.; Norris, D. J.; Bawendi, M. G. Synthesis and Characterization of Nearly Monodisperse CdE (E = S, Se, Te) Semiconductor Nanocrystallites. *J. Am. Chem. Soc.* 1993, 115, 8706-8715

¹⁴ Wegner, K. D.; Hildebrandt, N. Quantum dots: bright and versatile in vitro and in vivo fluorescence imaging biosensors. *Chem. Soc. Rev.*, 2015, 44, 4792-4834

¹⁵ G. Azzellino, F. S. Freyria, M. Nasilowski, M. G. Bawendi, V. Bulovič, *Adv. Mater. Technol.* 2019, 4, 1800727

¹⁶ Liu, Z.; Lin, C.-H.; Hyun, B.-R.; Sher, C.-W.; Lv, Z.; Luo, B.; Jiang, F.; Wu, T.; Ho, C.-H.; Kuo, H.-C.; He, J.-H. Micro-Light-Emitting Diodes with Quantum Dots in Display Technology. *Light: Sci. Appl.* 2020, 9, 85

¹⁷ Mattoussi, H., Palui, G., & Na, H. B. (2012). Luminescent quantum dots as platforms for probing in vitro and in vivo biological processes. *Advanced drug delivery reviews*, 64(2), 138-166

¹⁸ Efros, A. L., Delehanty, J. B., Huston, A. L., Medintz, I. L., Barbic, M., & Harris, T. D. (2018). Evaluating the potential of using quantum dots for monitoring electrical signals in neurons. *Nature nanotechnology*, 13(4), 278-288

¹⁹ Gao, J., Chen, X., Cheng, Z. Near-infrared quantum dots as optical probes for tumor imaging. *Curr Top Med Chem.* 2010;10(12):1147-57

²⁰ Vu TQ, Lam WY, Hatch EW, Lidke DS. Quantum dots for quantitative imaging: from single molecules to tissue. *Cell Tissue Res.* 2015 Apr;360(1):71-86