

# Vinculando a la física cuántica con las ciencias que estudian la forma

Jesica Jocelyn Cortés Cortina<sup>1\*</sup>, Abril Alondra Barrientos Bonilla<sup>1</sup>, Viridiana Vargas Castro<sup>2</sup>, Aurora del Carmen Sánchez García<sup>3</sup>, Daniel Hernández Baltazar<sup>1,4</sup>

1. Instituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana. Av. Dr. Luis Castelazo S/N. C. P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.
2. Facultad de Ciencias Químicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Ciudad Universitaria. Av. San Claudio y Boulevard 18 Sur. C.P. 72570. Puebla, Puebla, México.
3. Laboratorio de Neuropatología Experimental, Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. Av. Insurgentes Sur 3877. C. P. 14269. Ciudad de México, México.
4. Investigadoras e investigadores por México, SECIHTI. Av. Insurgentes Sur 1582. C.P. 03940. Ciudad de México, México.

**\* Autor para correspondencia:**

Jesica Jocelyn Cortés Cortina

[jycortes1@gmail.com](mailto:jycortes1@gmail.com)

## RESUMEN

Las herramientas basadas en la biomecánica, la óptica y la computación cuántica permiten desarrollar modelos avanzados del comportamiento de partículas, asimismo favorecen el diseño de redes neuronales y el análisis de imagen. La física cuántica, con sus principios de superposición, el entrelazamiento y la dualidad onda-partícula incentivan el desarrollo de métodos innovadores para el procesamiento de la información y la representación de patrones en la dinámica de partículas. Estos sistemas son especialmente útiles para la georreferenciación, el modelado de entornos virtuales y, de forma destacada, para el diagnóstico de trastornos neurológicos, donde los cambios de la citoarquitectura cerebral implica un análisis minucioso. En esta contribución, destacamos la importancia de la innovación tecnológica y buscamos motivar la reflexión respecto a cuán sencillo es el desarrollo de estas tecnologías, y cómo pueden contribuir a que los biólogos, los químicos, los médicos y los físicos interactuemos.

**Palabras clave:** Análisis de imagen, Biofísica, Neurociencias.

## ABSTRACT

Tools based on biomechanics, optics and quantum computing allow the development of advanced models of particle behavior, and also favor the design of neural networks and image analysis. Quantum physics, with its principles of superposition, entanglement and wave-particle duality, induce the development of innovative methods for information processing and the representation of patterns in particle dynamics. These systems are especially useful for georeferencing, modeling of virtual environments, and, notably, for the diagnosis of neurological disorders, in which changes in brain cytoarchitecture require careful analysis. In this contribution, we highlight the importance of technological innovation and wish to motivate the analysis regarding how simple the development of these technologies is, and how they can help biologists, chemists, doctors and physicists interact.

**Keywords:** Biophysics, Image analysis, Neurosciences.

## CONTEXTO

La era cuántica tiene su origen en el paradigma del efecto fotoeléctrico de Einstein, el problema de la radiación del cuerpo negro de Max Planck, y la ecuación de Schrödinger (Birkhoff, 1993). Aunque podría parecer que se limita a cálculos matemáticos abstractos, en realidad ha impulsado el desarrollo de tecnologías en múltiples áreas del conocimiento, incluidas las neurociencias (Rosas, 2024). La mecánica cuántica explora las propiedades de la materia y la energía a nivel de átomos y partículas subatómicas, lo cual es clave para comprender la comunicación celular, la actividad neuronal y la dinámica cerebral.

En el cerebro se encuentran coexistiendo neuronas y otras células, entre ellas las células gliales, que se comunican mediante señales eléctricas y químicas, lo cual deriva en un fenómeno electroquímico conocido como potencial de acción y neurotransmisión (Barrientos-Bonilla et al., 2023). Aunque el potencial de acción se describe principalmente en términos de biofísica clásica, algunos aspectos pueden explicarse considerando principios cuánticos. Por ejemplo, en ciertos sistemas biológicos, como las proteínas asociadas a los canales iónicos, dar el carácter de partículas a las moléculas permite generar modelos predictivos de su velocidad y la eficiencia con la que atraviesan la membrana celular (Marais et al., 2018). Por otra parte, la liberación de neurotransmisores en las sinapsis (Figura 1), que desencadena el inicio o la inhibición de un potencial de acción en la neurona postsináptica, implica interacciones moleculares altamente específicas a menudo controladas por enlaces y cambios conformacionales, que pueden ser entendidos a nivel cuántico. También se ha sugerido que, para lograr la velocidad de transmisión dentro de un canal iónico, los iones podrían atravesar la barrera energética mediante el tunelamiento cuántico, un fenómeno en el cual una partícula atraviesa una región prohibida clásicamente debido a su naturaleza ondulatoria, lo que podría explicar, en parte, la rapidez y eficiencia del intercambio iónico (Hameroff et al., 2014). Estos cambios pueden influir en la estructura celular, la conectividad y la fisiología tanto del cerebro humano como del resto de los animales.

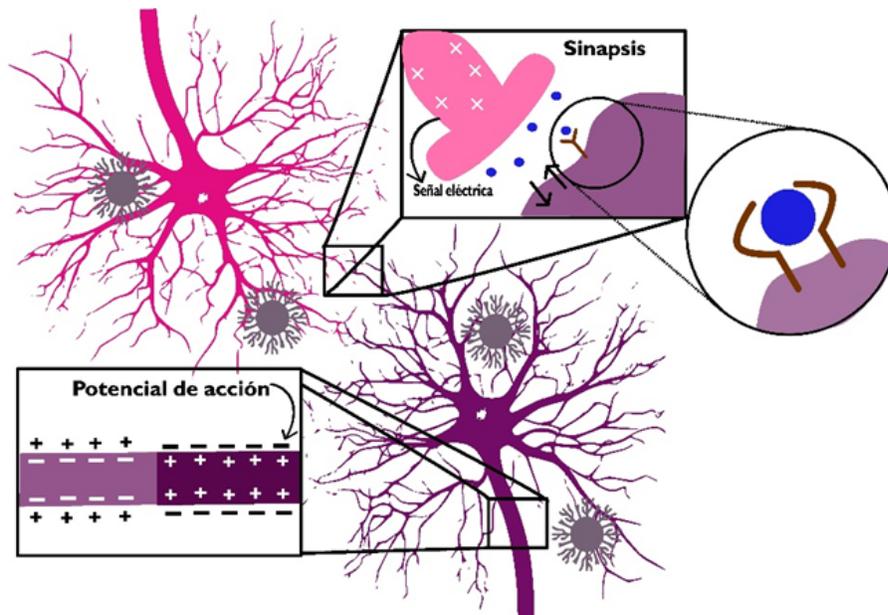


Figura 1. El potencial de acción y la neurotransmisión pueden explicarse mediante principios cuánticos. Imagen de autoría propia.

## APLICACIONES TECNOLÓGICAS PARA EL ESTUDIO DE LA FORMA

Considerando que las neurociencias engloban múltiples disciplinas, la aplicación de las tecnologías como la computación cuántica, la simulación y la óptica cuántica pueden revolucionar la comprensión de la dinámica cerebral en estado de salud o enfermedad. En lo que concierne a la computación cuántica y la simulación, se fundamentan en sistemas bioinformáticos que posibilitan la ejecución de cálculos y simulaciones utilizando datos atómicos extraídos de muestras biológicas, como células, tejidos, órganos, e incluso de organismos (Emani *et al.*, 2021); estas herramientas permiten modelar redes neuronales complejas, descifrar la conectómica y recrear dinámicas neuronales (Ansedo, 2024). Por otro lado, la óptica cuántica se ha utilizado para la obtención de imágenes, aprovechando las características de las partículas que componen las muestras analizadas. Implementos tecnológicos basados en esto, incluyen a la microscopía electrónica, la resonancia magnética nuclear, la epifluorescencia, además de programas informáticos para el análisis de imagen en alta resolución.

En la microscopía electrónica, aunque los átomos individuales no son observables, su disposición y comportamiento permiten recrear la morfología y la estructura de objetos a escalas nanométricas (Laws *et al.*, 2022). Por su parte en la resonancia magnética nuclear, cuando a los “espines” nucleares se les aplica un pulso de radiofrecuencia éstos se desvían, por lo que, si se detiene este pulso, los núcleos regresan a su posición original, liberando energía que es detectada por un sensor (Ziarek *et al.*, 2018). En cambio, durante la observación a través de un microscopio de epifluorescencia, un fluoróforo absorbe un fotón de luz favoreciendo el paso de un electrón a un estado de energía superior. Este electrón retorna a su estado de energía original emitiendo un fotón de una longitud de onda característica (Webb *et al.*, 2013). La relevancia de estos protocolos radica en que tanto a nivel de investigación a nivel experimental o de diagnóstico clínico permiten un análisis morfofisiológico de calidad.

Comprender los principios de la mecánica cuántica en relación con la comunicación celular en el cerebro y las tecnologías disponibles para su estudio en el ámbito clínico nos permite reconocer su importancia en el diagnóstico médico (Bisiani *et al.*, 2023). Para ejemplificar esto, analizamos la aplicación de las tecnologías cuánticas en enfermedades crónicas como el Parkinson.

## ADAPTACIÓN VS NEURODEGENERACIÓN

La enfermedad de Parkinson se caracteriza por un desequilibrio en la producción de dopamina, un neurotransmisor vinculado con la actividad motora, el equilibrio y la regulación de la cognición, por lo que su síntesis y liberación en las neuronas dopaminérgicas, así como su recaptura en momentos y núcleos cerebrales específicos, requiere una regulación precisa (Machado *et al.*, 2016). Es importante señalar que estas neuronas son vulnerables al estrés metabólico (Hernández-Baltazar *et al.*, 2019), lo que compromete su capacidad para establecer conexiones y conducir a la neurodegeneración y la neuroinflamación (Rosas-Jarquín *et al.*, 2020). Para investigar cómo el daño en las neuronas dopaminérgicas contribuye a la enfermedad de Parkinson utilizando tecnologías basadas en biofísica, se puede emplear la siguiente estrategia metodológica (Figura 2):

1. En un paciente es posible determinar los cambios en la forma y tamaño de núcleos cerebrales mediante resonancia magnética nuclear para detectar regiones dañadas (Bidesi *et al.*, 2021); o se puede usar la tomografía computarizada por emisión monofotónica del transportador de dopamina

(DAT-SPECT) para rastrear la actividad de la dopamina (Tolosa *et al.*, 2021) e incluso se ha propuesto la inmunodetección de proteínas alteradas (como la alfa-sinucleína) en el sistema nervioso y entérico como un biomarcador de la enfermedad (Soni *et al.*, 2024).

2. En condiciones *post mortem*, se pueden determinar los cambios ultraestructurales en las neuronas dopaminérgicas, o poblaciones celulares de sus núcleos de proyección, utilizando microscopía electrónica (Koga *et al.*, 2021); o bien inmunomarcaje para su posterior análisis mediante microscopía de epifluorescencia o confocal (Hernández-Baltazar *et al.*, 2020).

La implementación de las tecnologías derivadas de la física cuántica es crucial para comprender la fisiopatología de las enfermedades neurodegenerativas, y para mejorar las estrategias de diagnóstico y tratamiento.

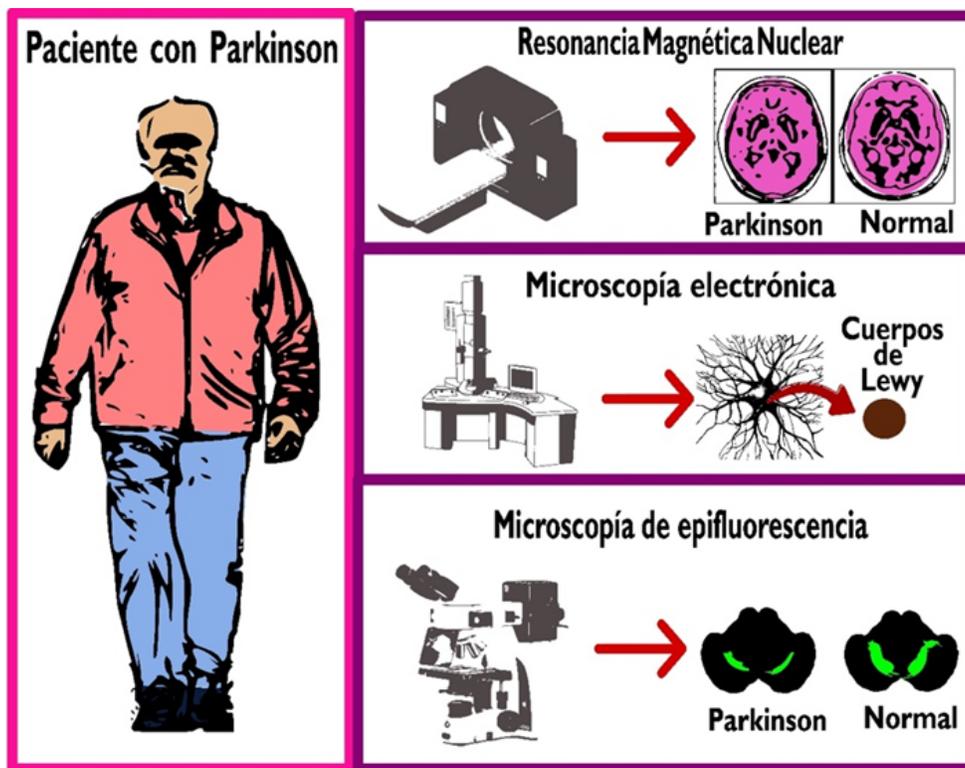


Figura 2. Uso de tecnologías basadas en física cuántica en ciencias biomédicas. Imagen de autoría propia.

## CONCLUSIÓN

La colaboración entre la física y las neurociencias nos impulsa a ir más allá de los límites de nuestro entendimiento actual y a explorar nuevas metodologías. En este entrelazamiento de disciplinas, se vislumbra un futuro donde físicos, químicos, médicos y biólogos colaboren para desentrañar los enigmas del cerebro humano, impulsando una era de descubrimientos que, hasta ahora, solo podíamos imaginar.

## REFERENCIAS

- Ansede, M. (2024). El primer mapa de un cerebro adulto abre una nueva puerta para investigar la mente. El País. <https://elpais.com/salud-y-bienestar/2024-10-02/el-primer-mapa-de-un-cerebro-adulto-abre-una-nueva-puerta-para-investigar-la-mente.html>
- Barrientos Bonilla, A., Montejó López, O., Pensado Guevara, P., Varela Castillo, G. & Hernández Baltazar, D. (2023). Estrategias para el estudio del cerebro. *Ciencia Aplicada en Chiapas* 10 (5), 56-59. <https://icti.chiapas.gob.mx/programas/revista/LaCienciaAplicada10.pdf>
- Bidesi, N. S. R., Vang Andersen, I., Windhorst, A. D., Shalgunov, V., & Herth, M. M. (2021). The role of neuroimaging in Parkinson's disease. *Journal of neurochemistry*, 159(4), 660–689. <https://doi.org/10.1111/jnc.15516>
- Birkhoff G. D. (1933). Some Remarks Concerning Schrödinger's Wave Equation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 19(3), 339–344. <https://doi.org/10.1073/pnas.19.3.339>
- Bisiani, J., Anugu, A., & Pentyala, S. (2023). It's Time to Go Quantum in Medicine. *Journal of clinical medicine*, 12(13), 4506. <https://doi.org/10.3390/jcm12134506>
- Emani, P. S., Warrell, J., Anticevic, A., Bekiranov, S., Gandal, M., McConnell, M. J., Sapiro, G., Aspuru-Guzik, A., Baker, J. T., Bastiani, M., Murray, J. D., Sotiropoulos, S. N., Taylor, J., Senthil, G., Lehner, T., Gerstein, M. B., & Harrow, A. W. (2021). Quantum computing at the frontiers of biological sciences. *Nature methods*, 18(7), 701–709. <https://doi.org/10.1038/s41592-020-01004-3>
- Hameroff, S., & Penrose, R. (2014). Consciousness in the universe: a review of the 'Orch OR' theory. *Physics of life reviews*, 11(1), 39–78. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2013.08.002>
- Hernández-Baltazar, D., Nadella, R., Barrientos Bonilla, A., Flores Martínez, Y., Olgún, A., Heman Bozadas, P., Roviroso Hernández, M., & Cibrián Llanderal, I. (2020). Does lipopolysaccharide-based neuroinflammation induce microglia polarization?. *Folia neuropathologica*, 58(2), 113–122. <https://doi.org/10.5114/fn.2020.96755>
- Hernandez-Baltazar, D., Nadella, R., Zavala-Flores, L. M., de Jesús Rosas-Jarquín, C., de Jesús Roviroso-Hernandez, M., & Villanueva-Olivo, A. (2019). Four main therapeutic keys for Parkinson's disease: A mini review. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 22(7), 716. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2019.33659.8025>
- Koga, S., Sekiya, H., Kondru, N., Ross, O. A., & Dickson, D. W. (2021). Neuropathology and molecular diagnosis of Synucleinopathies. *Molecular neurodegeneration*, 16(1), 83. <https://doi.org/10.1186/s13024-021-00501-z>
- Laws, R., Steel, D. H., & Rajan, N. (2022). Research Techniques Made Simple: Volume Scanning Electron Microscopy. *The Journal of investigative dermatology*, 142(2), 265–271.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2021.10.020>
- Machado, V., Zöller, T., Attaai, A., & Spittau, B. (2016). Microglia-mediated neuroinflammation and neurotrophic factor-induced protection in the MPTP mouse model of Parkinson's disease-lessons from transgenic mice. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(2), 151. <https://doi.org/10.3390/ijms17020151>
- Marais, A., Adams, B., Ringsmuth, A. K., Ferretti, M., Gruber, J. M., Hendriks, R., Schuld, M., Smith, S. L., Sinayskiy, I., Krüger, T. P. J., Petruccione, F., & van Grondelle, R. (2018). The future of quantum biology. *Journal of the Royal Society, Interface*, 15(148), 20180640. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0640>
- Rosas-Jarquín, C., Rivadeneyra-Domínguez, E., León-Chávez, B. A., Nadella, R., del Carmen Sánchez-García, A., Rembao-Bojórquez, D., Rodríguez-Landa, J. F., & Hernandez-Baltazar, D. (2020). Chronic consumption of cassava juice induces cellular stress in rat substantia nigra. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 23(1), 93. <https://doi.org/10.22038/IJBMS.2019.38460.9131>
- Rosas-Ortíz, O. (2024). El Premio Nobel de Física 2024: imitando el comportamiento del cerebro humano. *Avance y Perspectiva*, 10(3). <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/el-premio-nobel-de-fisica-2024-imitando-el-comportamiento-del-cerebro-humano/>
- Soni, R., Mathur, K., & Shah, J. (2024). An update on new-age potential biomarkers for Parkinson's disease. *Ageing research reviews*, 94, 102208. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2024.102208>
- Tolosa, E., Garrido, A., Scholz, S. W., & Poewe, W. (2021). Challenges in the diagnosis of Parkinson's disease. *The Lancet. Neurology*, 20(5), 385–397. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(21\)00030-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(21)00030-2)
- Webb, D. J., & Brown, C. M. (2013). Epi-fluorescence microscopy. *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)*, 931, 29–59. [https://doi.org/10.1007/978-1-62703-056-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-62703-056-4_2)
- Ziarek, J. J., Baptista, D., & Wagner, G. (2018). Recent developments in solution nuclear magnetic resonance (NMR)-based molecular biology. *Journal of molecular medicine (Berlin, Germany)*, 96(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00109-017-1560-2>