

Biología cuántica

Inmaculada Yruela

Investigadora científica CSIC

Estación Experimental de Aula Dei-CSIC, Zaragoza

La biología cuántica es una disciplina con creciente interés dado el número y la importancia de los mecanismos biológicos que se rigen por los nada triviales fenómenos de la mecánica cuántica. Aunque los descubrimientos más significativos en este campo de la biología han tenido lugar en los últimos veinticinco años, sus orígenes se remontan a 1944 coincidiendo con la publicación del famoso libro de Erwin Schrödinger *¿Qué es la vida?*, o incluso un año antes, con la publicación del libro del físico alemán Ernest Pascual Jordan *La física y el secreto de la vida orgánica*, donde Jordan planteaba la pregunta: “¿Son las leyes de la física atómica y cuántica de importancia esencial para la vida?”. Estos físicos manejaban los principios de la mecánica cuántica, establecidos en los primeros años del s. XX, para entender el comportamiento de la materia a escala microscópica —el término “cuántico” (del latín *quantum*) fue introducido por Max-Planck (1858-1947) para explicar la distribución discreta de los niveles de energía de los electrones en los sistemas atómicos.

Jordan y Schrödinger, junto a otros científicos, se atrevieron a plantear cuestiones más allá de la física en unos años donde la microbiología, la genética y la teoría cromosómica de la herencia eran territorios aún inexplorados. Por tanto, era natural que muchos se preguntaran si la nueva física atómica podría también decir algo sobre los componentes de la vida. Schrödinger aportó ideas fundamentales como: “la vida sigue las leyes de la termodinámica y un gran número de partículas (átomos, moléculas, etcétera), predecibles según las leyes de la física, siguen el principio *del orden desde el desorden*”. Jordan incorporó el enfoque del organicismo y afirmó que las leyes que faltaban en la vida eran las reglas del azar y la probabilidad (el indeterminismo) del mundo cuántico que, de alguna manera, se escalaban dentro de los organismos vivos. Jordan utilizó el término en alemán *Quantenbiologie* ya a finales de los años treinta, pero, posiblemente, su simpatía ideológica y política con el nazismo influyó en que este campo no floreciera más tras el final de la Segunda Guerra Mundial.

Tanto Jordan como Schrödinger identificaron un punto de contacto entre los procesos cuánticos y biológicos: los fenómenos biológicos macroscópicos pueden ser desencadenados por la dinámica de un número relativamente pequeño de partículas cuyo comportamiento estará regido, o al menos influenciado, por los fenómenos cuánticos no triviales

como la incertidumbre. La idea de que los organismos vivos tienen una capacidad única para amplificar lo cuántico en el mundo macroscópico tiene mucha relación con los puntos de vista modernos de la Biología Cuántica. Pero no solo en Alemania se debatían estas ideas; en 1932, en la Universidad de Cambridge, se creó el Club de Biología Teórica, un grupo interdisciplinar que exploraba si la mecánica cuántica podía aportar nuevas leyes a la biología. Entre los miembros del grupo se encontraban algunos de los científicos más influyentes de la biología de principios del siglo XX, como el bioquímico Frederick Gowland Hopkins, que recibió el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1929, junto a Christiaan Eijkman, por el descubrimiento de las vitaminas, Joseph Woodger que intentó deducir la estructura de las proteínas utilizando principios matemáticos, el biólogo del desarrollo Conrad Waddington o el biólogo evolutivo y genetista J. B. S. Haldane.

Las ideas aportadas por aquellos físicos, químicos y biólogos pioneros han sido, y son, de gran relevancia para la comprensión de algunos procesos biológicos. Cada vez hay más pruebas de que algunos mecanismos específicos de las células vivas se basan en las propiedades de la física cuántica, como la coherencia cuántica de larga duración, la superposición de estados, la sintonización y el entrelazamiento cuánticos, las dinámicas de spin o el efecto túnel. Estos fenómenos, que hasta bien entrada la segunda mitad del s. XX se consideraban relevantes exclusivamente a nivel de sistemas moleculares, atómicos y subatómicos aislados, o a temperaturas cercanas al cero absoluto, intervienen en los mecanismos que sustentan la vida. La biología molecular y la bioquímica estándar han asimilado las propiedades cuánticas de la materia y ahora es común usar esta característica para explicar la estabilidad química, la quiralidad, la reactividad química y la estructura dentro de las células vivas.

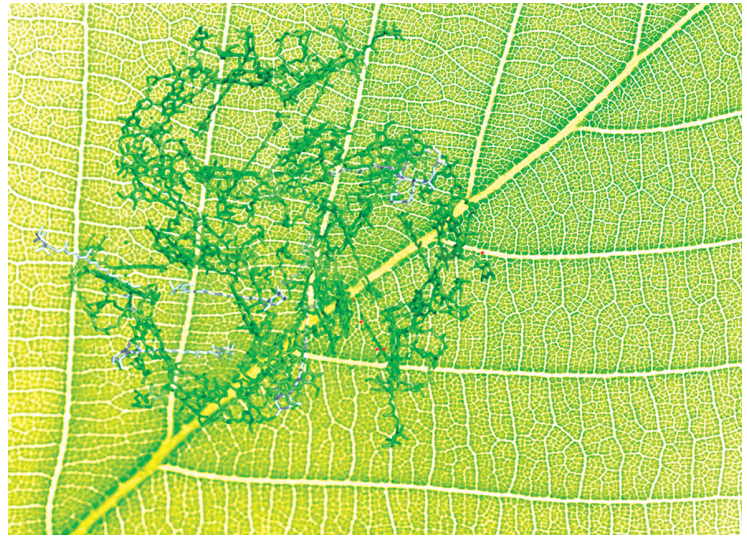
Todos los procesos biológicos que transcurren a través de estados excitados responden a las leyes de la mecánica cuántica debido a que los niveles de energía están cuantizados. Incluso, la formación y rotura de los enlaces químicos en las biomoléculas es un proceso fundamentalmente cuántico que requiere el reordenamiento de electrones. Hoy tenemos evidencia experimental de la coherencia cuántica en la fotosíntesis —en los complejos pigmento-proteína de antena—. La excitación y la transferencia electrónica fotosintética, el transporte electrónico mitocondrial, la producción de

especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (ROS y NOS) en las células, la actividad catalítica de enzimas, la tautomerización en las bases nitrogenadas del ADN que conduce a la aparición de mutaciones, la orientación de las aves en los viajes migratorios o la sensación olfativa, son algunos de los procesos biológicos que se pueden analizar desde un enfoque cuántico.

Este avance del conocimiento no habría sido posible sin el desarrollo de las técnicas biofísicas basadas en la excitación por pulsos de radiación electromagnética (uv, vis, microondas, entre otras) para detectar cinéticas y/o procesos de magnetización que ocurren en escalas de tiempo rápidos o ultrarrápidos. Los modelos y simulaciones computacionales, basados en el análisis de las contribuciones dinámicas y cuánticas, también han contribuido de manera notable a este conocimiento, aunque de manera parcial y con limitaciones. La capacidad de computación hace que todavía sea inviable el estudio de sistemas complejos (proteínas, ácidos nucleicos) con una metodología puramente cuántica y, por ello, se usen métodos híbridos que combinan aproximaciones de mecánica cuántica y mecánica molecular. Este es un campo muy activo actualmente que busca optimizar los métodos teóricos. La colaboración y fluida comunicación entre los investigadores experimentales y teóricos es muy importante, ambas disciplinas tienen que ir de la mano para avanzar en el entendimiento de los sistemas biológicos complejos. En el futuro próximo, la disponibilidad de computadores cuánticos será crucial para avanzar en estas investigaciones, al facilitar mejores posibilidades de cálculo para estos sistemas.

Las investigaciones que contribuyen a enriquecer el conocimiento básico de los mecanismos biológicos, a través de un diálogo estrecho interdisciplinar entre la física, la química y la biología, y que abren las puertas a aplicaciones biotecnológicas y biomédicas de gran valor son numerosas. Los cuatro artículos que componen este dossier científico ilustran la importancia del enfoque cuántico en la bioquímica y la biología molecular desde diferentes perspectivas e ilustran con ejemplos algunas de sus aplicaciones.

El primer artículo, de las Dras. Marta Martínez-Júlvez, Patricia Ferreira y Milagros Medina, profesoras e investigadoras del Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular y Celular, y el Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos (BIFI) de la Universidad de Zaragoza, trata sobre la importancia de los procesos de oxidación-reducción en el metabolismo celular y sobre las contribuciones cuánticas a algunos de ellos. Las autoras son expertas en los mecanismos moleculares y factores que aportan versatilidad a los sistemas dependientes de flavoenzimas, una información útil para nuevas aplicaciones biotecnológicas



y terapéuticas. El segundo artículo, de los Dres. Santiago Signorelli y Juan B. Arellano, investigadores del School of Agriculture/Universidad de la República de Montevideo y School of Molecular Science/University of Western Australia, y el IRNASA-CSIC de Salamanca, respectivamente, trata sobre la importancia de la especie reactiva oxígeno singlete en biología y su naturaleza cuántica, así como sobre las aplicaciones biomédicas y las terapias emergentes basadas en ella. Los autores han contribuido al conocimiento de los mecanismos moleculares asociados al crecimiento y respuesta de las plantas a diferentes estímulos ambientales, y especialmente a la formación y señalización del oxígeno singlete. El tercer artículo, de la Dra. Susana Cadenas, investigadora del Centro de Biología Molecular "Severo Ochoa" (CBMSO-CSIC/UAM) de Madrid y coordinadora del grupo científico de la SEBBM "Radicales libres y estrés oxidativo", trata sobre los mecanismos de producción de las especies reactivas de oxígeno (ROS), y sobre su papel regulador en los mecanismos redox, en la señalización celular y en el envejecimiento. La autora investiga la función mitocondrial en la célula y su implicación en el desarrollo de patologías, en particular en el control de la producción mitocondrial de ROS y en la protección de las células frente al estrés oxidativo. El cuarto artículo, del Dr. Enrique Marcos, investigador del Instituto de Biología Molecular de Barcelona (IBMB-CSIC), trata sobre el estado actual y los retos del diseño de proteínas de novo con precisión atómica. El autor es experto en la modelización molecular de enzimas, con especial interés en el diseño de proteínas *de novo* y la optimización de la unión al ligando para una adecuada función. La investigación en esta disciplina requiere de metodologías cuánticas y se beneficiará enormemente de los nuevos desarrollos en los ordenadores cuánticos.

Agradezco, finalmente, a las autoras y autores su dedicación y trabajo para que la edición de este dossier científico haya sido posible, y al editor de la revista *SEBBM* por el encargo de coordinarlo. ■