



“Rozamos la pregunta más antigua: no solo cómo funciona la vida, sino por qué la materia, bajo ciertas condiciones, empieza a estar viva”

SONIA CONTERA

Sonia Contera, catedrática en la Universidad de Oxford, es física y bióloga, y el binomio es relevante. Investiga la vida en el límite de la cuántica, donde aún hay enormes dudas sobre si es posible entrar. Los trabajos de Contera desde la biología física tienen como horizonte dar respuesta a la pregunta antigua: ¿en qué momento algo deja de ser materia para convertirse en vida? ¿Dónde salta la chispa? En el camino, podrían resolverse enigmas como el funcionamiento del cerebro, y abrir caminos tan vertiginosos como la medicina cuántica. En esta entrevista con una de las mayores divulgadoras europeas en cuántica, indagamos en un “salto cuántico” olímpico: el que afecta a los sistemas vivos.

TEXTO: MARTA MARÍA RAMÍREZ
FOTOGRAFÍA: IRENE MEDINA

La cuántica, ¿puede actuar en sistemas biológicos? ¿en nuestras células? ¿en nuestro cerebro?

Hay grandes misterios en biología. Por ejemplo, ¿cómo es posible que el cerebro humano solo utilice 20 vatios de potencia en reposo (lo cual es sorprendentemente poco para la cantidad de procesamiento que realiza), mientras que los centros de datos consumen cantidades enormes de energía? ¿Por qué los humanos somos capaces de aprender tanto con tan pocos recursos y las máquinas necesitan tanto? Buscamos respuesta a fenómenos como este desde las propias células, comprender cómo integran la información. Y una de las explicaciones puede ser que la biología ha aprendido a operar en la frontera entre el mundo cuántico y el mundo clásico. Pero esto es algo que no nos atrevemos a explorar del todo, porque los físicos cuánticos no suelen estudiar biología y los biólogos no incluyen la mecánica cuántica en su formación.

¿Cómo podría la cuántica explicar procesos en el cerebro humano que ahora son absolutas incógnitas? Es una pregunta fascinante, pero aquí conviene ser cuidadosos. Hoy por hoy no hay evidencia sólida de que el cerebro utilice coherencia cuántica macroscópica ni nada parecido a un “ordenador cuántico” funcionando en nuestras neuronas. El cerebro es un sistema caliente, húmedo y ruidoso, un entorno en el que los efectos cuánticos delicados tienden a desvanecerse muy rápido.

Ahora bien, hay cuestiones abiertas en neurociencia que alimentan la especulación. Por ejemplo, la enorme eficiencia del cerebro: con muy poca energía y con una cantidad relativamente pequeña de datos, somos capaces de realizar tareas que a los sistemas artificiales les exigen volúmenes masivos de información y entrenamiento. También está nuestra capacidad para captar estructuras o regularidades que no son explícitamente “lógicas” y, sobre todo, aprender con

“Me interesa entender por qué surge la vida en el universo y cómo, a partir de las mismas leyes físicas, aparecen sistemas capaces de sentir, comprender y modificar su entorno: nosotros”

muy pocos ejemplos y muy poca repetición, algo que sigue siendo difícil de reproducir en sistemas artificiales.

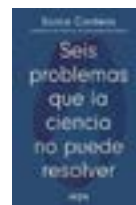
Algunos investigadores han sugerido (de forma todavía muy hipotética) que ciertos procesos microscópicos (por ejemplo, a escala molecular en proteínas o en el transporte electrónico dentro de las neuronas) podrían incorporar efectos cuánticos que influyan en la dinámica neuronal. Y, en un terreno aún más especulativo, hay propuestas que intentan relacionar la cuántica con la conciencia, pero estas ideas están lejos de estar confirmadas y generan mucho debate.

En resumen, la mecánica cuántica está en la base de toda la química del cerebro, como en cualquier sistema biológico, pero que explique directamente fenómenos como la cognición avanzada o la conciencia es, por ahora, una hipótesis sugerente más que una teoría demostrada.

¿Es algo reconocido el estudio de la cuántica en sistemas biológicos? A mí me interesa mucho el trabajo de investigadoras como Natalia Álvarez, una profesora argentina que está en Oxford haciendo experimentos muy interesantes utilizando inteligencia artificial para estudiar la energía mínima que requiere un sistema cuántico para aprender. Sin saberlo, está reproduciendo algo muy parecido a lo que hacen las células. Por eso creo que la cuántica se está acercando cada vez más a la biología.

Me sorprende la resistencia que existe todavía en la comunidad científica a estas ideas, incluso cuando científicos como Roger Penrose o equipos como Google Quantum AI están explorando estas conexiones entre la cuántica y los sistemas vivos.

Yo no soy física cuántica, soy física biológica. Me interesa entender por qué surge la vida en el universo y cómo, a partir de las mismas leyes físicas, aparecen sistemas capaces de sentir, comprender y modificar su entorno.



Seis problemas que la ciencia no puede resolver (Arpa, 2025). Sonia Contera recorre los enigmas fundamentales que la ciencia sigue sin responder. Desde la física cuántica y el origen de la vida hasta el envejecimiento, la inteligencia artificial y la conciencia, nos invita a explorar las fronteras del conocimiento con asombro y mirada crítica.

¿Tienen ya evidencias de sistemas biológicos que usen efectos cuánticos? Cada vez hay más indicios de que algunos sistemas biológicos podrían aprovechar efectos cuánticos “no triviales” (por ejemplo, coherencia o dinámica cuántica en escalas muy pequeñas) para mejorar la eficiencia o la sensibilidad de ciertos procesos. Se habla de posibles huellas cuánticas en la fotosíntesis y en la magnetorrecepción (es decir, cómo algunas aves se orientan con el campo magnético terrestre), aunque no todo está cerrado y en muchos casos, aún se debate qué parte es realmente cuántica y cuál puede explicarse de forma clásica.

No sería extraño que la biología rozara lo cuántico, porque trabaja en la escala molecular y nanométrica, donde las leyes cuánticas son la base de la cuántica.



“Trabajos recientes abren la puerta al desarrollo de la medicina cuántica”

La cuestión interesante no es si hay cuántica (la hay, porque sin mecánica cuántica no habría enlaces químicos), sino si hay efectos cuánticos delicados que se mantienen el tiempo suficiente como para cumplir una función biológica en un entorno cálido, húmedo y “ruidoso”, características de un sistema biológico.

Si esto se confirma, el significado es doble. Nos daría una explicación más profunda de por qué algunos procesos biológicos son tan eficientes o sensibles, y por qué la biología surge en la Tierra en la escala nanométrica. Además, podría inspirar nuevas tecnologías: materiales, sensores o dispositivos que funcionen a temperatura ambiente, aprendiendo de las estrategias de la biología para proteger o usar esos efectos sin necesitar temperaturas cercanas al cero absoluto.

En mi laboratorio estamos diseñando técnicas y experimentos para poner a prueba estas hipótesis y, con suerte, entender qué mecanismos permitirían sostener o explotar dinámicas cuánticas en condiciones biológicas.

Volvamos a la fotosíntesis... Una de las ideas más interesantes es que ciertos efectos cuánticos muy sutiles podrían ayudar a explicar por qué el transporte de energía en la fotosíntesis es tan eficiente. Cuando una planta absorbe un fotón, se genera una excitación que debe viajar por una red de moléculas hasta el centro de reacción, donde se transforma en energía química. Algunos experimentos y modelos sugieren que, durante tiempos extremadamente cortos, esa excitación podría comportarse de forma “coherente” y explorar rutas de transferencia de manera especialmente eficaz, e incluso que el propio “ruido” térmico del entorno puede ayudar a evitar atascos. Aún se debate cuánto de ese efecto es funcional en condiciones biológicas reales, pero si se confirma podría enseñarnos estrategias para diseñar materiales y dispositivos más eficientes que trabajen a temperatura ambiente.

¿Y la orientación de las aves? La orientación de algunas aves es uno de los casos más citados de posible efecto cuántico funcional en biología. Muchas especies migratorias parecen tener una ▶



“brújula” interna sensible al campo magnético terrestre, y una de las explicaciones más estudiadas es el mecanismo del par radical. Según esta idea, cuando la luz activa ciertas moléculas en la retina (como los criptocromos), se generan pares de electrones cuya evolución magnética puede verse ligeramente influida por el débil campo de la Tierra, inclinando la química hacia una u otra ruta y produciendo así una señal que el ave interpreta como dirección. No es magia, sino física de espines descrita con herramientas cuánticas, aunque sigue abierto el debate sobre los detalles moleculares y su papel exacto en el organismo.

Lo interesante es que esta misma base física ha inspirado recientemente trabajos de ingeniería de proteínas capaces de responder a campos magnéticos y leerse ópticamente en células vivas, abriendo la puerta a sensores biológicos que funcionan a temperatura ambiente y con posibles aplicaciones en bioimagen y medicina. Estos estudios abren la puerta a la medicina cuántica.

¿Qué pasa con procesos tan naturales como la respiración humana? En la respiración humana también hay “cuántica”. Pero aquí el matiz es

Sonia Contera, minutos antes de su panel en el Foro de la cultura 2026, en Espacio Fundación Telefónica.

importante: toda la bioquímica se apoya en la mecánica cuántica porque los enlaces químicos, la estructura de las moléculas y las reacciones dependen de ella.

La cuestión interesante (la misma que en la fotosíntesis) es si hay efectos cuánticos no triviales y funcionales (como coherencia mantenida, efecto túnel relevante o dinámicas cuánticas que mejoren el rendimiento) que el organismo “explote” de forma activa.

En la respiración celular, que ocurre en las mitocondrias, hay una cadena de transporte de electrones y ahí sí se habla con bastante seriedad de un efecto cuántico, el tunelamiento electrónico a distancias muy cortas. Es posible que, a escala molecular, esta sea la manera más eficiente de mover electrones entre centros activos. Pero eso es distinto a decir que la respiración sea “cuántica”: son efectos locales, muy breves y muy acoplados al entorno, integrados en una química compleja.

Lo que estamos intentando entender es si la biología solo “vive” sobre la cuántica (como cualquier química) o si, en algunos pasos concretos, la usa como ventaja para ganar eficiencia, velocidad o control en condiciones normales de temperatura y ruido.

¿Con la cuántica se podría lograr una célula de laboratorio? Tal y como está formulada, la pregunta es un poco engañosa, porque la cuántica no es una tecnología que “fabrique” células, sino la teoría física que describe cómo se comporta la materia a escala microscópica. Una célula ya es, en cierto sentido, un sistema cuántico... pero organizado de una forma extraordinariamente compleja. El “truco” de la biología no es hacer cosas exóticas como las que buscamos en muchos laboratorios de física cuántica, sino aprovechar la física de la materia blanda: polímeros, membranas, proteínas flexibles, redes dinámicas que funcionan en agua y a temperatura ambiente.

Esos sistemas son capaces de integrar, en la misma escala nanométrica, química, electricidad, interacciones magnéticas débiles, mecánica y organización espacial, todo ello lejos del equilibrio y de manera autorregulada. En comparación, los dispositivos cuánticos actuales están muy controlados, muy aislados y suelen operar en condiciones extremas; están diseñados para preservar estados cuánticos delicados, no para sostener la complejidad autoorganizada de una célula.

Así que la pregunta no es si “la cuántica puede crear una célula”, sino si algún día podremos entender y reproducir la arquitectura físico-química que hace posible la vida, algo que hoy está mucho más cerca de la biología sintética, la ciencia de materiales y la biofísica que de la ingeniería cuántica tal y como la conocemos.

¿La cuántica podría explicar procesos tan enigmáticos como los saltos que se dan en la evolución de las especies? Hoy por hoy, la teoría evolutiva explica los cambios en las especies mediante mutaciones, recombinación y selección natural, y no necesita invocar efectos cuánticos para describir los llamados “saltos” evolutivos. Sin embargo, estamos afinando nuestra visión. Sabemos que la variación genética no es completamente uniforme ni totalmente aleatoria, que distintas regiones del genoma pueden evolucionar a diferentes ritmos y que existen dinámicas más estructuradas de lo que se pensaba. Algunas propuestas teóricas, inspiradas en la física y en modelos probabilísticos más sofisticados

“Encontramos posibles huellas cuánticas en la fotosíntesis de las plantas y en cómo algunas aves se orientan con el campo magnético terrestre”

UN MENSAJE PARA LAS NIÑAS Y JOVENES QUE QUIEREN SER CIENTÍFICAS

Yo no vengo de una familia científica; mi madre no fue al colegio. La ciencia me ha dado libertad, me ha permitido viajar, conocer el mundo y tener una vida muy rica.

La ciencia conecta con las grandes preguntas de nuestra época. Permite entender el mundo y formar parte de él de una manera profunda. Pocas profesiones ofrecen esa posibilidad. ¡Seguid vuestra curiosidad!

(incluso con analogías cuánticas), exploran si estos patrones podrían entenderse mejor desde marcos no puramente clásicos, pero todo esto está todavía en desarrollo y no constituye una explicación demostrada de la macroevolución.

¿Las próximas décadas pueden ser las que integren cuántica y biología de un modo más amplio? Hasta ahora he intentado darte respuestas prudentes y realistas, pero en esta pregunta mi impresión personal es que sí. Las próximas décadas pueden ser un punto de inflexión. No porque vayamos a descubrir que la vida “es cuántica” en un sentido espectacular, sino porque empieza a haber una convergencia real entre campos que durante mucho tiempo caminaron separados. Los físicos cuánticos ya no trabajan solo con sistemas ideales y aislados; están integrando ideas de la teoría de la información en sistemas cada vez más complejos, situados precisamente en la frontera entre el mundo cuántico y el clásico. Y desde la biofísica estamos intentando entender si es justamente en esa interfaz, ni puramente clásica ni puramente cuántica, donde los sistemas vivos encuentran parte de su eficacia y su creatividad.

Estamos al principio, pero esa zona intermedia, esa frontera dinámica entre coherencia y ruido, entre fluctuación y orden, podría ser un territorio fértil. Ahí pueden nacer tecnologías radicalmente nuevas (sensores, materiales, formas de computación inspiradas en la vida) y quizá también una comprensión más profunda de cómo la materia llega a organizarse hasta volverse metabolismo, adaptación, conciencia. Y en esa conversación entre la física de los sistemas cuánticos complejos y la física de los seres vivos puede que estemos rozando, poco a poco, la pregunta más antigua: no solo cómo funciona la vida, sino por qué la materia, bajo ciertas condiciones, empieza a estar viva. ■