

La naturaleza encierra la respuesta a algunos de los retos tecnológicos que debemos abordar en los próximos años

Javier Prior Arce¹

¹*Departamento de Física Aplicada, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena 30202, España*

En el año 2007 el grupo de investigación que dirige el Profesor Graham R. Fleming en la Universidad de Berkeley, realiza unas sorprendentes observaciones en diferentes complejos fotosintéticos que apuntan hacia la presencia de coherencia cuántica de larga duración en la transferencia excitónica en estos sistemas. La pregunta que desde entonces se han planteado muchos científicos y a la que responderemos en el artículo publicado en *Nature Physics* es: ¿cómo es posible que la coherencia electrónica pueda sobrevivir en un ambiente biológico? Nosotros demostramos cómo una distribución espectral no trivial de las fluctuaciones de las proteínas que rodean los cromóforos que propagan la excitación electrónica pueden generar procesos fuera de equilibrio, que producen una generación espontánea y sustentada de coherencias electrónicas, incluso a temperaturas fisiológicas.

En los últimos años se viene observando una serie de fenómenos cuánticos en la naturaleza que indican que ésta conoce algunos trucos que los físicos o ingenieros no conocen. El rango de sistemas en los que se han encontrado dichos efectos cuánticos es muy amplio y engloba desde la habilidad de los pájaros para navegar usando el campo magnético terrestre, las reacciones producidas en enzimas catalizadoras donde algunos protones se mueven de una molécula a otra por medio de efecto túnel, el sentido del olfato o la temática de la que voy a hablar en este artículo de divulgación: los procesos que tienen lugar en plantas o en bacterias fotosintéticas donde utilizan la luz del sol, dióxido de carbono y agua para generar materia orgánica (azúcar), siendo ésta la reacción bioquímica más importante de la tierra, la fotosíntesis.

Lo interesante es que hay ciertos procesos en la naturaleza que utilizan la cuántica con ventajas concretas. En la fotosíntesis, proceso en el que las plantas o bacterias extraen energía de la luz, los investigadores pensamos que es posible que la física cuántica tenga algo que ver con su gran eficiencia. Si ahondamos en la biología quizás descubramos que muchos procesos puedan explicarse a través de la mecánica cuántica.

Dentro de estos procesos tan sorprendentes que nos encontramos en la naturaleza destaca una bacteria que se ha descubierto a cientos de metros de profundidad en los océanos, donde la luz del sol prácticamente no penetra. Se les conoce como bacterias verdes sulfúricas y son capaces de aprovechar con una eficiencia superior al 98% los pocos fotones que les llegan, menos de uno por minuto. Dicha eficiencia supera con creces al rendimiento típico de las placas solares fotovoltaicas actuales. Una vez que entendamos como funcionan estos procesos, los investigadores esperamos ser capaces de fabricar nuevas placas solares de mayor eficiencia o desarrollar dispositivos de almacenamiento de energía. Esto no significa que la naturaleza sea más inteligente que los físicos o ingenieros, sino que los 4000 millones de años de evolución han hecho que esta se adapte y optimice algunos de los procesos que en ella tienen lugar.

En la década de los ochenta, Ahmed Zewail, entre otros, desarrolló la espectroscopía de femtosegundos.

Esta técnica se han seguido desarrollando intensamente en los últimos desarrollándose lo que hoy se conoce como espectroscopía bidimensional en el infrarrojo. A partir del desarrollo de nuevas técnicas experimentales, ha ido aumentando el interés por un nuevo campo de investigación que mezcla la física cuántica con la biología. Su gran impacto se ha visto favorecido por las observaciones experimentales que distintos grupos han venido mostrando desde el año 2007 (inicialmente realizadas en la Universidad de Berkeley por el grupo del Profesor Graham R. Fleming) y que apuntan hacia la presencia de coherencia cuántica de larga duración en la transferencia excitónica de diferentes complejos fotosintéticos. La pregunta que desde entonces se han planteado muchos científicos y a la que responderemos en el artículo publicado en *Nature Physics* es: cómo es posible que la coherencia electrónica pueda sobrevivir en un ambiente biológico a lo largo del proceso de la fotosíntesis?

En el artículo, titulado *The role of non-equilibrium vibrational structures in electronic coherence and recoherence in pigment-protein complexes* respondemos a estas preguntas que han interesado a tantos científicos provenientes de distintos campos.

Estas observaciones junto a otros fenómenos han ido consolidando un nuevo campo de investigación comúnmente conocido como biología cuántica aunque el término más adecuado será Efectos Cuánticos en Sistemas Biológicos. Este tipo de fenómenos cuánticos se habían observado desde hace décadas en escalas nanométricas pero siempre en dispositivos inmersos en espacios con características muy particulares como, por ejemplo, un vacío extremo, temperaturas ultra bajas, o entornos del sistema muy controlados en el laboratorio. Los sistemas a los que hacemos referencia en este artículo se encuentran a temperatura ambiente, son desordenados y distan mucho de estar controlados.

Pero antes de responder a la pregunta que nos formulábamos es fundamental que entendamos en qué consiste la coherencia cuántica y en que proceso en concreto aparecen. Todos hemos oído hablar en numerosas ocasiones de distintos fenómenos cuánticos como son la superposición, no localidad, entrelazamiento o efecto túnel.

Procesos que en el mundo macroscópico en el que vivimos no son apreciables y por lo tanto no están dentro de nuestra vida cotidiana, resultándonos poco intuitivos. La coherencia cuántica es uno de estos fenómenos, donde, los patrones de las ondas de cada parte del sistema permanecen acompasados, es decir, se preserva la fase de la onda que describe el estado cuántico de nuestro sistema. Por otro lado, y en referencia al proceso concreto donde se han observado decir que, en las plantas, en las bacterias fotosintéticas (las que se alimentan de la luz) existen unas moléculas que son sensibles a la luz del sol, los cromóforos. Estos cromóforos al absorber la luz pasan a un estado excitado cuya energía tiene que propagarse a través de una región constituida por diferentes moléculas hasta alcanzar una posición concreta donde se encuentra el centro de reacción. Es aquí donde la energía absorbida en la planta o la bacteria fotosintética es empleada para favorecer la reacción química que combina dióxido de carbono con agua para dar azúcar, la reacción química más importante para la vida. Pues bien, este proceso de transporte de carga que sucede desde un cromóforo que absorbe la luz y que podemos llamar antena hasta el centro de reacción, tiene lugar en un sistema biológico rodeado de agua, proteínas, desorden, temperatura y muchos otros factores que nos deberían hacer pensar que cualquier efecto cuántico es atenuado en tiempos muy cortos de femtosegundos (1 segundo dividido entre un 1 seguido de 15 ceros). Pues bien, los experimentos nos dicen que no, que hay coherencias cuánticas que duran tiempos de picosegundos (1000 femtosegundos) que son los que necesita la excitación producida en la antena para alcanzar el centro de reacción.

Cuando hemos estudiado en profundidad el problema y no realizando ninguna aproximación resulta que es este entorno que rodea a los cromóforos qué actúan como cable entre la antena y el centro de reacción, que al comportarse de una debida manera protege dicha coheren-

cia cuántica. Este entorno, debido a que vibra de una forma concreta favorece ciertos modos o frecuencias vibracionales que son capaces de sustentar la propagación de una superposición cuántica de estados excitados que se produce tras absorber la luz solar. Estas frecuencias y cualquier efecto que produce el entorno que rodea a lo que hemos denominado el cable que conecta la antena con el centro de reacción está caracterizado por lo que se conoce como distribución espectral. En el artículo publicado en *Nature Physics* demostramos cómo una distribución espectral no trivial de las fluctuaciones de las proteínas que rodean los cromóforos que propagan la excitación electrónica puede generar procesos fuera de equilibrio que producen una generación espontánea y sustentada de coherencias electrónicas, incluso a temperaturas fisiológicas.

Estudiando el funcionamiento y eficiencia de estos procesos, una vez que se comprenda, podríamos imitarlos para conseguir mejorar la tecnología existente. Por ejemplo podríamos desarrollar nuevas células solares fotovoltaicas y baterías de mayor eficiencia energética, imitando el funcionamiento de las plantas y bacterias fotosintéticas. Este objetivo está muy presente en los trabajos desarrollados por los experimentales y teóricos del campo y se está avanzando rápidamente en esta dirección.

No es casual que este campo, Efectos Cuánticos en Sistemas Biológicos, esté ganando tanta relevancia en los últimos años. Este siglo se caracterizará por ser el siglo de la ciencia multidisciplinar. Una época de convergencia y unidad científica, en la que, por ejemplo, la complejidad inherente de los sistemas biológicos, estudiada con el rigor de la física (no necesariamente cuántica), generará avances a nivel conceptual y tecnológico de extrema relevancia. Un siglo donde la convergencia de la ingeniería, medicina, física, matemática y otras disciplinas dará lugar a uno de los momentos más fructíferos de la ciencia.