

La biología cuántica ¿un nuevo campo de la química?

Carlos Amador-Bedolla^a y Alán Aspuru-Guzik^b

ABSTRACT (Quantum biology: a new field of chemistry?)

Over the past century quantum mechanics has been widely applied in the understanding of several physical phenomena. In chemistry, particularly, quantum mechanics have been fundamental for confirmation of chemical insights, and for the description, rationalization and prediction of lots of chemical details. However, and notwithstanding some early speculations, mainstream thinking pointed to the idea that quantum effects are not directly responsible for the description of chemical phenomena involved in life, favoring application of classical mechanics to effectively describe dynamic properties of proteins, DNA, cell membranes, for example. Recent experimental and theoretical developments show that quantum effects are essential in a few fundamental chemical biology processes. In this paper we present a description of these findings in the study of photosynthesis.

KEYWORDS: Quantum biology, photosynthesis, green sulfur bacteria, quantum coherence, open quantum systems, femtochemistry

Introducción

La combinación de un proceso de selección natural aleatorio y un largo periodo de tiempo produce resultados singulares, inesperados y complejos. Tanto así que no es tan sorprendente que de vez en cuando los humanos nos vayamos por la puerta falsa de la creencia en el diseño inteligente. Porque, hasta donde entendemos, todo lo que en la vida ha sido posible es resultado de la combinación de tiempo y ensayos. El que nos interesa en esta ocasión es la forma en que la vida obtiene energía.

Muchos productos de esa intrincadísima prueba y selección de procesos —los seres humanos, los escarabajos peloteros— podemos obtener energía de fuentes tan elaboradas como los carbohidratos, los glúcidos y los lípidos; pero, a fin de cuentas, toda esa energía tiene que provenir de la energía solar, que es la única que ha mostrado su constancia y su abundancia en la escala temporal que corresponde a la evolución. Así, si se quiere entender el origen más básico de la vida, tenemos que atender la absorción de luz solar por parte de los seres vivos: la fotosíntesis.

Y los químicos hemos atendido el estudio de la fotosíntesis desde diversos ángulos. Así hemos logrado localizar los organismos celulares donde se lleva a cabo —por ejemplo los clorosomas—, identificar pigmentos como la clorofila o los carotenos, conocer sus tipos, descubrir rutas de su biosíntesis, etcétera. Aún así, débiles como somos a las tentaciones del reduccionismo, nos llama la atención estudiar el fenómeno fotosintético con base en el proceso más elemental posible:

¿cómo se absorbe la luz —el fotón— que llega a la célula? ¿Cómo se transmite la energía absorbida —contenida en varias moléculas excitadas— a la creación de un nuevo enlace químico, por ejemplo en ATP?

Desde la invención de la ciencia moderna nos hemos dedicado a buscar descripciones de los fenómenos más complejos con base en un número reducido de procesos fundamentales. Newton nos hizo pensar que tres ecuaciones —muy sencillas, si mucho nos apuran— describen todo: el sistema solar, el clima, el funcionamiento de un motor, el vuelo de un avión. Schrödinger y sus contemporáneos acabaron con esa ilusión sólo para reemplazarla con la de la mecánica cuántica, que sustituye una de las ecuaciones de Newton por otra un poco más compleja, y que nos hizo creer, durante muchos años, que el reemplazo sólo era necesario para explicar lo que ocurre con cosas muy pequeñas a temperaturas muy bajas. Los efectos cuánticos son indispensables para describir el mundo, pero una vez tomados en cuenta, el mundo de lo grande y templado se describe clásicamente.

Ahí se ve a Schrödinger y sus colegas, en la famosa fotografía de la conferencia Solvay de 1927, luego de encontrar esas ideas fundamentales que, suponemos, lo describen todo. De una fecha cercana proviene el *dictum* de Dirac:

Las leyes físicas fundamentales necesarias para la teoría matemática de una gran parte de la física y de la totalidad de la química se conocen ahora por completo, y la única dificultad es que la aplicación exacta de esas leyes lleva a ecuaciones demasiado complicadas para resolverse...

Los experimentos recientes

Un fotón se absorbe, promueve un electrón a un estado (cuántico) de más alta energía, las moléculas excitadas transfieren esa energía a un aceptor que se encargará de separar esa exci-

^a Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

^b Department of Chemistry and Chemical Biology, Harvard University.

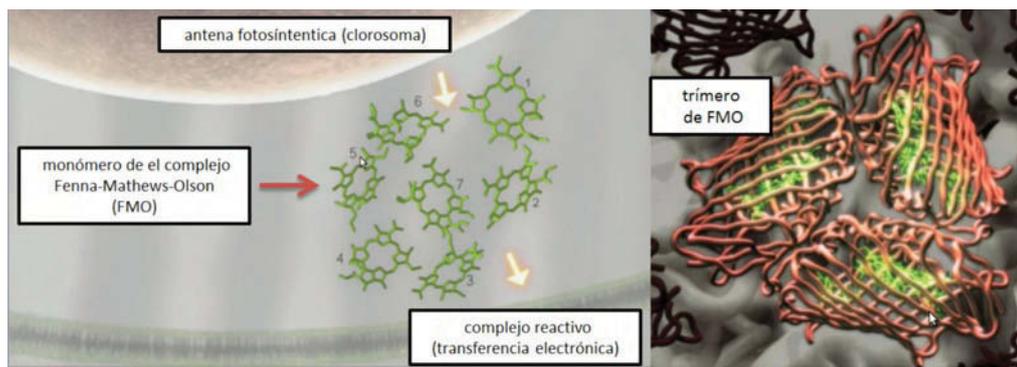


Figura 1. Izquierda. Esquema de la transferencia energética que ocurre en la bacteria fotosintética verde *Chlorobium tepidum*. La energía es absorbida por cientos de miles de clorofilas en el clorosoma y es transferida hacia el centro reactivo a través del trímero del complejo Fenna-Matthews-Olson (FMO). Conforme la energía es transferida, parte de ella es disipada a las vibraciones de la proteína, creando un embudo energético (*energy funnel*) que culmina en una absorción de la excitación en el centro reactivo con casi 100% de eficiencia. Derecha. Cada subunidad tiene siete bacterioclorofilas, más una octava que ha sido recientemente descubierta que se comparte entre las tres subunidades (la octava clorofila no es mostrada).

tación como un electrón y un hoyo (ausencia de electrón) e iniciar una cadena de eventos químicos cuyo desenlace es el de formar el enlace químico que la almacene hasta que haga falta. ¿Cómo ocurre exactamente este fenómeno?

Recientemente (Beatty *et al.*, 2005) se descubrió la existencia de complejos fotosintéticos en bacterias que viven en el fondo del mar —a donde no entra nadie, nunca, como en los *dire straits* de Cortázar— donde pueden absorber cuando mucho un fotón por minuto. La luz es absorbida por un organismo llamado clorosoma, que en el caso de estas bacterias verdes sulfúricas *Chlorobium tepidum*, es probablemente la antena fotosintética más eficiente de todas las que existen. Presumiblemente, el sistema de este organismo ha evolucionado para tener una eficiencia casi perfecta para transferir la luz, una vez absorbida, al centro de reacción donde se inicia la química de la vida. El clorosoma está compuesto de más de cien mil moléculas de bacterioclorofila y un número menor de carotenos que se autoorganizan en “rollos” que el profesor Doug Bryant de Penn State University llama “chorizos de Andouille”. La estructura de estos rollos ha sido elucidada recientemente por el grupo de Huub de Groot en Holanda (Ganapathy *et al.*, 2009). Estas estructuras de cientos de nanómetros, están adyacentes a una placa de clorofilas que a su vez transfiere la energía hacia el centro de reacción a través de unos complejos fotosintéticos asociados a la membrana (figura 1), llamados complejos FMO —por Fenna, Matthews y Olson, sus descubridores (Fenna & Matthews, 1975). El complejo FMO que tiene sólo siete bacterioclorofilas sirve como un “cable” con una eficiencia de transporte desde la antena del clorosoma hasta el centro reactivo de más de 98%, y es lo suficientemente simple para haberse convertido en un complejo favorito, por parte de teóricos y experimentales, para intentar respuestas a las preguntas planteadas anteriormente. El complejo es fácilmente soluble y, por lo tanto, fue de las

primeras estructuras fotosintéticas de las que se tuvieron estructuras de rayos X.

Es momento de analizar el transporte de la antena al centro reactivo. La explicación tradicional, luego del advenimiento de la mecánica cuántica, es semiclásica: cuando se absorben fotones, el complejo FMO se excita y puebla los estados excitados de las 22 clorofilas que lo forman y que tienen energías ligeramente distintas. Los electrones en estados excitados se transfieren a proteínas de menor energía hasta llegar a la más cercana al aceptor —la zona del complejo que hará el siguiente paso en el alma-

namiento de energía— donde la excitación electrónica es probablemente convertida en una excitación de transferencia de carga que a su vez, inicia una transferencia electrónica. O eso creíamos hasta hace muy poco.

En la década de los ochenta, Ahmed Zewail —premio Nobel en 1999 (Zewail, 1999)—, entre otros, inventó la espectroscopía de femtosegundos. Con el avance de la tecnología del láser se logró crear aparatos capaces de enviar pulsos de luz ultra cortos a los sistemas químicos. Dos paquetes de radiación láser se envían con unos cuantos femtosegundos de diferencia: el primero excita las moléculas de los reactivos y el segundo detecta la naturaleza de las moléculas de los productos o de los compuestos intermediarios. Esto permite ver cómo y en cuánto tiempo cambian las moléculas durante una reacción química. No es extraño que gracias a esta nueva técnica la química haya vivido una revolución, porque gracias a esta espectroscopía, muchos de los efectos que sospechábamos pudieron ser comprobados o refutados.

Y en 2007 se aplicó esta técnica al problema que nos ocupa. El equipo de Graham Fleming, de la Universidad de California, Berkeley (Engel *et al.*, 2007) empleó las técnicas de la espectroscopía de femtosegundos para estudiar la transferencia energética dentro de complejos de FMO en solución. La técnica utilizada es conocida como espectroscopía de cuatro ondas (*four-wave mixing*) y es un análogo óptico de la resonancia magnética nuclear bidimensional. Para sorpresa de propios y extraños, se encontró que la evolución de la excitación debida a la absorción de luz mostraba la existencia de coherencia cuántica electrónica de larga duración (cientos de femtosegundos). Es decir que, en lugar de que la excitación brinque probabilísticamente de un estado de excitación colectivo de las clorofilas (conocido como *excitón*) a otro, como predeciría un abordaje semiclásico, la excitación oscila como onda —de manera cuántica— entre los diferentes excitones que se

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/7565641>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/7565641>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)