

Carta abierta al lector

Aparte de creencias religiosas y posiciones dogmáticas, todo el mundo estará de acuerdo conmigo en que la vida es un hecho singular y extraordinario por su extensa y rica diversidad, sus hechos sorprendentes e inesperados, admirable por su belleza, pero al mismo tiempo terrible, problemática, enigmática y misteriosa. De la observación directa, la pregunta más fácil que uno se puede plantear es la siguiente: ¿por qué la materia inanimada y animada, estando hechas ambas de átomos y moléculas, tienen comportamientos radicalmente diferentes? Pensemos en las estrellas, galaxias y planetas, o en las bacterias, los virus, los animales y las personas.

Otro hecho singular es la cara opuesta de la vida, la muerte. La transición de la vida a la muerte es, a día de hoy, un proceso irreversible y también enigmático, pues en la línea divisoria entre ambos estados, en ese tránsito que puede durar segundos o minutos, esos mismos átomos y moléculas que forman la materia viva pasan a comportarse de otra forma. Es como si tuvieran noción o fueran conscientes de su estado en cada momento. Esta pequeña reflexión me recuerda la película *21 gramos* (2003), escrita por Guillermo Arriaga y dirigida por Alejandro González Iñárritu. Está basada en el proceder curioso de un médico americano, D. MacDougall, que hacia

principios del siglo pasado pesaba a sus pacientes antes y después de su muerte. La pérdida de peso del cuerpo en ese trance la atribuía, ingenuamente, al peso del alma que emprendía una nueva etapa o alcanzaba un nuevo estado.

A finales de los años veinte y principios de los treinta, un grupo de físicos empezó a ver que el campo de la biología podría ser un buen terreno a explorar dentro de la mecánica cuántica. Pensaban que los grandes enigmas de la vida podrían explicarse o entenderse mejor con la nueva física que estaba emergiendo con fuerza. N. Bohr, P. Jordan y M. Delbrück contribuyeron, inicialmente y motivados por el primero, a adoptar el principio de complementariedad (o dualidad onda-corpúsculo como aspectos complementarios de la realidad) como base para abordar las ciencias de la vida. Igual que se parte de los postulados de la mecánica cuántica para empezar a desarrollarla, la aceptación de la vida en la biología debería ser vista como un hecho fundamental y, por tanto, como un postulado. Mientras Bohr estaba interesado principalmente en los aspectos filosóficos, Jordan y Delbrück tomaron diferentes posturas y caminos. Parece ser que la primera vez que se habla de *biología cuántica* es en un artículo firmado por Jordan. Uno de sus proyectos fue crear un instituto de investigación sobre la raza y desarrolló una teoría para entender los procesos cuánticos en las células que desencadenarían eventos macroscópicos. El contexto político alemán no era el adecuado y esto, unido a su pensamiento político alineado con la ideología nazi, hizo que Jordan tuviera muchos detractores. El trabajo de Delbrück tomó un rumbo más científico (experimental), pues se centró en estudios sobre los virus bacteriófagos (virus que infectan solo a las bacterias), que le llevaron a compartir el Premio Nobel de Fisiología en 1969 con S. E. Luria y A. D. Hershey.

E. Schrödinger propuso en su libro *What's life?*, publicado en 1944, una nueva forma de analizar la vida que tuvo una gran repercusión. Resumiendo, las tres ideas nuevas que aportó en este ensayo fueron:

1. La vida sigue las leyes estadísticas de la termodinámica de tal forma que el promedio de un gran número de partículas (átomos, moléculas, etc.) es predecible según las leyes físicas, no el comportamiento individual de una de ellas; estableció así lo que se conoce como *principio del orden desde el desorden*.
2. Introdujo el término *neguentropía* o entropía negativa de un ser vivo para dar cuenta de la entropía que transmite un sistema al medio para mantener baja su propia entropía, además de dejar claro que la vida es un proceso fuera del equilibrio (el equilibrio implicaría la muerte).
3. Introdujo el concepto de un cristal aperiódico y su similitud a la información contenida en el código genético y viendo cómo la herencia se transmitía con alta fidelidad, le convencieron para establecer, en este contexto, el nuevo *principio del orden desde el orden*. Si hubiera que definir la vida muy resumidamente, se podría decir que esta es autoorganización y autorreplicación. El código básico de la vida debería tener la estructura de un cristal aperiódico.

La biología molecular se desarrolló enormemente después de su libro porque, poco después, en 1953, se descubrió el ADN, a partir de datos de difracción de rayos X recogidos por R. Franklin, y sus autores, F. H. C. Crick y J. D. Watson, le agradecieron su influencia en este campo. Este ensayo fue para muchos una provocación, pues los críticos sostenían que la mecánica cuántica no podía estar detrás de la vida. Esta posición se mantuvo durante mucho tiempo porque sostener lo que se conoce como *coherencia cuántica* en un organismo vivo, que es un medio caliente, húmedo y desordenado o turbulento, no parecía posible. Hoy, más que nunca, nos acordamos del libro de Schrödinger y su clarividencia; en 2019 se cumplen 75 años de su publicación.

En 2007, un grupo de investigadores de la Universidad de California, en Berkeley (EE UU), obtuvo la primera

evidencia experimental de la coherencia cuántica en la fotosíntesis. En palabras más llanas, fue la primera confirmación experimental de que la mecánica cuántica podría estar detrás de procesos vitales como la propia fotosíntesis. Este descubrimiento marcó claramente el resurgimiento de la biología cuántica y numerosos grupos de investigación de todo el mundo desde entonces están llevando a cabo estudios acerca de la implicación de esta disciplina en los organismos vivos. A partir de 2011, en prestigiosas revistas científicas como *Nature* y *Science* empezamos a ver artículos que tratan sobre la biología cuántica.

La biología molecular y, más general, la biología cuántica, surge de la unión de la física, la química y la biología. El tema que trata es el de la propia vida. La vida es algo muy cercano a todos nosotros, pero el lenguaje que se requiere para su comprensión es cada vez más especializado como resultado de la continua investigación. Un estudio completo sobre la vida necesita de una auténtica investigación multidisciplinar con la consiguiente acumulación de conocimientos para, después, interpretarlos y comprenderlos en su conjunto, tarea harto difícil, ya que pueden aparecer —y aparecen— nuevas *propiedades emergentes* que no se pueden deducir de los compartimentos estancos que representan los diferentes campos del conocimiento. Como reza uno de los famosos títulos de la revista *Science* en un artículo del premio Nobel de física P.W. Anderson: “*More is different*”.

Para una mejor comprensión de los temas que vamos a desarrollar, he dividido este libro en cuatro capítulos. En mi libro *Mecánica cuántica* (2015), de esta misma colección, intenté ofrecer una aproximación sencilla a esta disciplina que tantos éxitos sigue cosechando, no solo al nivel de la ciencia básica o fundamental, sino también de las aplicaciones tecnológicas. No hay ya ninguna duda de que las llamadas tecnologías cuánticas se impondrán en los próximos años. Hablaba en él del comportamiento del mundo microscópico o micro-mundo (partículas como electrones, protones, neutrones, átomos o moléculas) y lo denominaba *etología cuántica* como una extensión de la ciencia de la etología que estudia el

comportamiento del hombre y de los animales. Este comportamiento es dual, antiintuitivo y, por tanto, paradójico (el lenguaje cotidiano es más un obstáculo que una ayuda para entender el mundo cuántico).

En el primer capítulo me quiero centrar únicamente en recordar al lector algunos de los conceptos básicos de la mecánica cuántica, deteniéndome con un poco más de detalle en lo que se conoce como *efectos cuánticos no triviales*. Algunos de estos son: el efecto túnel, la coherencia cuántica y los latidos cuánticos (*quantum beats*), el entrelazamiento o correlación cuántica, medida fuerte y decoherencia, el efecto Zenón y la resonancia estocástica. Cuando el proceso de decoherencia o pérdida de coherencia cuántica se impone, el mundo clásico emerge y la dualidad onda-corpúsculo y el mundo paradójico desaparecen. El propósito es doble, intentar que este libro sea lo más autosuficiente posible y equiparnos del bagaje mínimo indispensable para poder seguir sin dificultad los próximos capítulos. No obstante, para liberar al lector de la presión que pueda sentir al esforzarse en entender este mundo tan fascinante y sorprendente, me remito a lo que dijo el genial físico estadounidense R. P. Feynman: “*I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics* [Creo que puedo decir con seguridad que nadie entiende la mecánica cuántica]”.

En el segundo capítulo vamos a dar a conocer también, de manera muy sucinta, el lenguaje mínimo necesario para poder entender la biología molecular o la química cuántica de la vida, en particular, el enlace químico, la reacción química, los radicales libres y las biomoléculas tales como las proteínas, las enzimas y los lípidos o grasas. Al igual que en el capítulo anterior, quizás más, muchos tecnicismos tienen que introducirse porque a medida que nos adentramos en lo más pequeño, nuevos y necesarios conceptos van apareciendo para describir una realidad cada vez más compleja. Intentaré, en la medida de lo posible, ser claro y conciso. Pido disculpas al lector si se ve un poco perdido o incluso confuso. Como dije en mi anterior libro, la responsabilidad de hacerse entender es del que escribe o habla, principalmente.

En el tercer capítulo haremos especial hincapié en cómo la mecánica cuántica interviene en los procesos vitales. En particular, analizaremos algunos de ellos: la quiralidad, la genética y la epigenética, la fotosíntesis, la respiración, la magnetorrecepción o migración aviar y el olfato. El denominador común de estos procesos vitales, como dije anteriormente, es analizar cómo la coherencia cuántica puede mantenerse en un medio o entorno caliente, húmedo y turbulento como el que está presente en cualquier organismo vivo. Una de las conclusiones a la que llegaremos es que esos procesos vitales deben ocurrir a escalas de tiempo muy cortas, tiempos siempre más cortos que el tiempo en el que el proceso de decoherencia tiene lugar. Esta conclusión no deja de ser problemática porque este proceso se establece de una manera gradual, no instantánea. Otra conclusión es que, al entender mejor los mecanismos involucrados en los procesos vitales, podemos aprovecharnos de ellos y diseñar, por ejemplo, computadores cuánticos a imagen y semejanza de los organismos vivos, influir externamente en la vida a través de la prevención y curación de enfermedades mediante nuevas terapias cada vez más sofisticadas y, en general, mejorar nuestra calidad de vida a nivel energético, tecnológico, social e individual.

Parafraseando de nuevo a Feynman, “*there’s plenty of room at the bottom*”, que en una traducción libre sería algo así como “queda aún mucho por descubrir en lo pequeño”. Esta frase está sacada de una charla que dio en 1959 y que, en opinión de mucha gente, suministró los fundamentos intelectuales del campo de la nanotecnología o la ingeniería a la escala de átomos y moléculas. Más aún, parece ser que sirvió de inspiración a la maravillosa película *Fantastic Voyage* en la que un submarino y sus tripulantes se encogen o reducen al nivel molecular (nanoescala, del orden de 10^{-9} metros) para poder entrar en el cuerpo humano y disolver un coágulo de sangre que se ha formado en el cerebro. Este submarino nos permite también llegar a “ver” los mecanismos que subyacen en los procesos vitales de los organismos vivos, valga la redundancia.

Sin lugar a dudas, toda la investigación básica llevada a cabo en la biología cuántica tendrá aplicaciones futuras directas en nuestra sociedad que conllevarán el cambio de muchos paradigmas. En una ocasión, Feynman manifestó que “*everything that living organisms do can be understood in terms of the jiggling and wiggling of atoms*”, de nuevo, en una traducción libre, diríamos que “todo lo que los organismos vivos hacen se puede entender en términos de agitación y movimiento de átomos”. La complejidad de la vida quizás haga muy difícil este objetivo.

Se podría decir que hay tres grandes interrogantes en la ciencia: el origen del universo, el origen de la vida y el origen de la mente/consciencia. Científicamente, se pueden explicar muchas cosas a día de hoy o, al menos, suministrar explicaciones muy plausibles sobre la evolución del universo, de la vida y de la consciencia. Pero las causas de estos tres hechos singulares quedan aún muy lejos de conocerse, si es que algún día se conocen. Es como si en el proceso evolutivo, que sugiere un proceso continuo, de repente hubiera habido tres saltos de una importancia capital. En el cuarto y último capítulo voy a intentar abordar este tema tan delicado pero apasionante, donde es muy fácil abonarse al campo de la especulación.

La pregunta que nos podemos hacer es, como plantea la *teleología* (campo de la metafísica que estudia los fines o propósitos de algún objeto o ser): ¿existe una causa final de las cosas?; en particular, la existencia de la vida ¿tiene una causa final o *telos*? Se habla de *disteleología* cuando la respuesta filosófica a esta pregunta es negativa. Para tal fin, y por limitación de espacio, me he propuesto intentar dar una visión muy resumida y, por tanto, simplificada y reduccionista de lo que la ciencia actual (bajo los dominios de la teoría de la relatividad, la mecánica cuántica, la biología, la genética, etc.) puede decir sobre la existencia del universo, del sistema solar, de la Tierra, de la vida y, finalmente, de la aparición de la mente. El objetivo final es motivar al lector a una reflexión, un poco más profunda de lo habitual, sobre la existencia de él mismo y de su entorno analizada desde tres componentes o dimensiones

básicas: la escala macroscópica, que es nuestro medio natural de vida, y las escalas microscópica y cósmica, donde los límites de lo muy pequeño y muy grande, respectivamente, nos hacen ignorar y perder muchas veces una perspectiva complementaria y, por tanto, más completa y enriquecedora de nuestra propia existencia.

Prevengo al lector de que el propio enfoque del capítulo puede estar sesgado hacia mi posición existencial y experiencia profesional. No obstante, prometo que me mantendré lo más aséptico posible para que su reflexión no quede contaminada por mis propias posiciones vitales. Lo que sí quiero dejar claro es que en cualquier parte del camino que vamos a recorrer juntos, el lector está libre de apoyarse en sus creencias. Yo no voy a hacer ninguna mención al componente religioso o credo de los asuntos que trataremos aquí. Como he dicho muchas veces, ese componente religioso no puede ser ni negado ni afirmado por la ciencia, pues está en un plano radicalmente diferente, aparte de implicar una elección y una vivencia personal.

Finalmente, en el epílogo, mi objetivo es recoger una muestra de investigaciones recientes que están apareciendo en los artículos de la prensa escrita relacionados con los temas que trataremos aquí. Mi intención es poner de manifiesto lo importante que son la investigación y sus aplicaciones, y concienciarnos de que la mecánica cuántica tiene mucho que decir en otros campos como, de alguna manera, ya apuntaba Schrödinger en su libro. Muchos conceptos científicos del campo de la biología cuántica y otros se están popularizando porque la gente está ávida de este tipo de información.

Se dice que un libro debería hacer reflexionar, pensar, sobre el tema que desarrolla. Si al leer este libro he conseguido que el lector reflexione y busque más información y formación, me daré totalmente por satisfecho. Como he dicho anteriormente, la biología cuántica es un tema multidisciplinar. Cualquier profesional de la investigación en física, química o biología que quiera escribir un libro de divulgación sobre este tema se enfrenta a un reto muy grande, pues la

especialización hoy en día en cualquier campo del conocimiento es muy alta. Soy por ello consciente de que la tarea que se me viene encima no es nada fácil. Dependiendo de la formación del autor, un libro de divulgación hace hincapié en los aspectos en los que este se siente más cómodo, mostrando un claro sesgo hacia su especialidad. Esto no lo he podido evitar y, por tanto, de antemano pido disculpas si no he conseguido mi objetivo inicial. Ni que decir tiene que la habilidad del autor en transmitir conceptos nuevos e ideas complejas y hacerlas llegar al lector de una forma entendible y digerida es un terreno ya ganado al éxito del proyecto, amén de saber transmitirle el entusiasmo del propio autor al plasmarlo. Lo adelanto, la conclusión final, quizás la más importante, es que queda un largo camino por andar, si no infinito.

Este libro pretende ser también un modestísimo homenaje personal a Schrödinger por su excelente y clarividente ensayo cuyas bodas de brillantes se celebran precisamente este año.

Con mis mejores deseos, recibe un cordial saludo.

SALVADOR MIRET ARTÉS