

## Introducción

No tienes más que mencionar la teoría cuántica y la gente tomará tu voz por la voz de la ciencia y se creará cualquier cosa.

GEORGE BERNARD SHAW, *Ginebra*

La física cuántica tiene un peso creciente en la cultura popular. Entre otros muchos posibles ejemplos, en los últimos meses he visto al menos dos nuevas películas con mi hijo de 9 años (*Un pliegue en el tiempo* y *Ant-man y la avispa*) en las que se mencionan propiedades cuánticas, e incluso la más popular y paradigmática de ellas, el famoso entrelazamiento cuántico, hasta podríamos decir que tiene un papel central en la trama. Desafortunadamente, el tratamiento que se da en esas películas no solo no es científicamente riguroso (lo cual no es necesariamente exigible en una buena película), sino que es completamente descabellado. Al entrelazamiento cuántico se le atribuyen una serie de propiedades taumatúrgicas, que lo convierten en una suerte de *deus ex machina* posmoderno.

Este tratamiento de la física cuántica no es una excepción, sino que encaja perfectamente con el que vemos con demasiada frecuencia en Internet y las redes sociales. La teoría cuántica sería algo así como una especie de cosmovisión, a mitad de camino entre la física y la metafísica, que nos permitiría escapar de la aburrida física convencional para abrir un mundo “alternativo” donde cabe todo y todo vale, donde no se respetan principios físicos bien establecidos ni tampoco la

lógica, y, por tanto, cualquier disparate, por acientífico y descabellado que sea, puede encontrar acomodo. Todo está lleno de cosas “fascinantes”, “misteriosas” y “extraordinarias”; hay montones de mundos, todo es impredecible y todo puede ocurrir, todo está conectado y es complejo, de manera que cualquier ocurrencia, superchería o timo tiene justificación.

Además, según estas corrientes, sería una teoría que nadie entiende muy bien y sobre la que los físicos llevaríamos décadas discutiendo sin ponernos de acuerdo en nada. Esta visión, a la que desafortunadamente contribuyen también muchas veces los investigadores y divulgadores, es una gran tergiversación y exageración de la realidad, que suele apoyarse en frases sacadas de contexto, chascarrillos irrelevantes y debates ya superados por los experimentos.

Por ejemplo, una cita muy popular en redes sociales es una frase que el gran físico estadounidense del siglo XX Richard Feynman dijo en los años sesenta: “Creo que puedo decir con seguridad que nadie entiende la mecánica cuántica” (Feynman, 2015). El atractivo de esta cita es comprensible. Por un lado justifica la pereza intelectual: si hasta Feynman pensaba así, mejor no esforzarse más en entender la física cuántica. Por otro lado, casa bien con esa cosmovisión que he explicado en los párrafos anteriores. Pero, como he escrito en otra ocasión (Sabín, 2019), en realidad, Feynman no quería decir eso en absoluto. Existe un vídeo en YouTube en el que Feynman explica lo difícil que es contestar a la pregunta de ¿por qué los imanes se separan o se acercan?, o a cualquier pregunta sobre física que contenga un ¿por qué? Entender, explicar un fenómeno físico, sería, según el profesor Feynman, relacionarlo con otras cosas más simples que uno cree ya haber entendido.

Eso es precisamente lo que solemos hacer con la física que a los físicos nos gusta llamar “clásica” (es decir, no cuántica) a la física de Newton que aprendimos en el colegio: todo lo relacionamos con planos inclinados, poleas, muelles,

pelotas... ¿Tendría sentido que nos preguntáramos por qué la fuerza es igual a la masa por la aceleración? Tal vez, pero seguramente no debería sorprendernos demasiado que la contestación sea, sencillamente, que eso es lo que dice la segunda ley de Newton, la cual puede comprobarse experimentalmente. De hecho, a nadie le resulta muy extraño que al empujar algo lo movamos, y que se mueva tanto más cuanto más pequeña sea su masa, ya que lo podemos experimentar todos los días. La respuesta nos satisface, puesto que hemos podido relacionar la fuerza, la masa y la aceleración con cosas que entendemos y podemos manipular, así que no necesitamos preguntarnos por el significado de una ecuación: si acaso, nos preocupará exclusivamente si es correcta, es decir, si es capaz de explicar y predecir lo que sucede en el mundo, al menos en el caso concreto de algún fenómeno en el que estemos interesados.

En cambio, la física cuántica no describe objetos con los que estamos familiarizados, sino que es sobre todo la física de las pequeñas partículas (electrones, fotones, átomos...) o, en algunos casos especiales, de objetos más grandes pero sometidos a condiciones exclusivas de laboratorio (por ejemplo, temperaturas “ultrabajas” como  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) que no aparecen nunca en nuestra vida cotidiana. Por eso, al descubrir cosas nuevas mediante el estudio de la física cuántica, nos resulta mucho más complicado (estrictamente, imposible) relacionarlo con cosas que conozcamos bien o que podamos manipular con facilidad y observar con nuestros ojos.

Me gusta mucho contar un ejemplo (Sabín, 2019) que usaba un profesor mío en la universidad, ya jubilado, con el que me inicié en la investigación de la física cuántica (se trata del gran Guillermo García Alcaine, de la Universidad Complutense de Madrid, con el que hice un trabajo de investigación y un artículo científico precisamente sobre la teoría del entrelazamiento cuántico). El ejemplo es el siguiente: imaginen que han vivido ustedes en el campo y se han acostumbrado a ver cerdos y caballos, pero en su primer viaje a África

ven por primera vez un hipopótamo. ¿Cómo lo describirían? Seguramente, se les ocurra decir que es un animal que a veces se comporta como un cerdo y otras veces como un caballo. Sin embargo, es obvio que no es ni un cerdo ni un caballo: es un hipopótamo. Lo mismo, decía mi querido profesor, sucede con un electrón: a veces se comporta como una onda y a veces como una partícula, pero es, sobre todo, un electrón. Es en este sentido en el que Feynman decía que nadie entiende la mecánica cuántica, y es por eso, quizá, que no nos satisfacen completamente respuestas como: “Así lo dice la ecuación de Schrödinger, la cual se ha comprobado experimentalmente”. Y, sin embargo, mucha gente entiende la mecánica cuántica: muchos físicos teóricos somos capaces de explicar y predecir sin ningún problema el comportamiento de objetos físicos que se rigen por leyes cuánticas (así lo llevamos haciendo desde hace décadas), y también muchos físicos experimentales en el mundo son capaces de manipular esos objetos y medir sus propiedades, hasta el punto de estar creando, en los últimos años, nuevas tecnologías a partir de ellos.

De hecho, en paralelo a esa visión fantasiosa y sensacionalista de la teoría cuántica que denunciábamos arriba, el lector se habrá encontrado, sin duda, con numerosas noticias, también con un grado variable de rigor (como regla general, descarte aquellas en las que se diga que se ha hecho un nuevo experimento para demostrar que Einstein se equivocaba), en las que se da cuenta de los avances de las tecnologías llamadas cuánticas (es decir, aquellas que, para su funcionamiento, usan alguna característica exclusiva de la física cuántica para mejorar su rendimiento en comparación con la tecnología convencional).

Ahora mismo, por ejemplo, en varios lugares del planeta, muchos físicos que entienden la física cuántica, cuyos proyectos están financiados por algunas de las empresas y gobiernos más importantes del mundo (IBM, Microsoft, Google, Intel, entre otras, junto con los gobiernos de la Unión

Europea, Reino Unido, Canadá, China, etc.) compiten por ser los primeros en conseguir un ordenador gobernado por la física cuántica que haga cálculos imposibles para nuestros ordenadores clásicos. Es solo un ejemplo de un campo emergente, las nuevas tecnologías cuánticas, que cada vez recibe más interés e inversión. ¿De verdad alguien cree que todo esto sería posible si fuera cierto que nadie entiende la mecánica cuántica?

A la luz de todo lo anterior, el objetivo de este libro es doble. Por un lado, intentaremos desmentir las creencias erróneas, los malentendidos, los mitos más comunes que rodean a la física cuántica en la cultura popular. Pondremos especial énfasis en demostrar que la mecánica cuántica no es algo misterioso e incomprensible, sino una bien entendida parte de la física con propiedades bien definidas, en la que no cabe cualquier cosa que se nos ocurra. Si alguien tiene la tentación de usar la física cuántica como una vía de escape para aquellas propiedades de la física que le puedan resultar molestas, como, por ejemplo, la descripción de la naturaleza en términos exclusivamente racionales, el sometimiento al imperio de la metodología científica, donde reinan despóticamente los experimentos y las pruebas, etc., este libro trae muy malas noticias: no es así, esta rama de la física que llamamos cuántica es, en ese sentido, tan “física” como la que más.

Por otro lado, mostraremos que la física cuántica está ya dando lugar a una nueva generación de tecnologías que prometen tener un impacto incalculable en grandes áreas de nuestra sociedad. Los ya mencionados ordenadores cuánticos, los simuladores cuánticos, los aparatos de criptografía y de metrología cuántica son ya realidades tecnológicas en diversos estados de desarrollo. Este segundo objetivo, en realidad, refuerza considerablemente el primero: no se me ocurre mejor manera de desmentir todas esas visiones fantasiosas y sensacionalistas sobre la física cuántica que mostrar cómo funcionan experimentos reales y concretos. Pero, además,

este objetivo tiene interés en sí mismo, ya que puede servir para empezar a comprender una nueva rama de la tecnología que podría moldear aspectos importantes de nuestras vidas en un futuro no muy lejano.

Este doble objetivo ha de tenerse en cuenta para entender la estructura, quizá relativamente inusual, de este libro. En esta época que ha sido llamada la de la “posverdad”, somos muy conscientes de que, para explicar y entender algo, ya no es suficiente con describir correctamente sus características reales, sino que es preciso también (o quizá, sobre todo) desmontar en paralelo todos los hechos alternativos, *fake news* y relatos que circulan alrededor del hecho en sí. Por tanto, el primer capítulo llevará por título “Lo que la física cuántica no es” y se dedicará a desmontar los mitos y errores que, en mi experiencia como científico y divulgador, me han parecido más comunes y recurrentes. Solo entonces podremos afrontar adecuadamente el siguiente capítulo: “Lo que la física cuántica es”, donde intentaremos capturar las características esenciales de la teoría y los experimentos cuánticos. Y, finalmente, en el capítulo sobre “Tecnologías cuánticas” veremos que todo lo anterior da lugar a una nueva generación de tecnologías, de la cual describiremos sus características básicas y el estado de desarrollo en que cada una de ellas se encuentra en la actualidad.