

“La física cuántica requiere un cambio drástico de nuestra visión de la naturaleza”

Juan Ignacio Cirac Sasturain es doctor en Física Teórica por la Universidad Complutense de Madrid. En la actualidad, es director del Instituto Max Planck de óptica cuántica y colaborador del Instituto de Ciencias Fotónicas en Barcelona. En 2006 recibió el Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica.

Ha publicado alrededor de doscientos artículos relacionados con los ordenadores cuánticos y la teoría cuántica de información; es uno de los científicos españoles más galardonados a nivel mundial.

=====

A mí siempre me ha gustado la ciencia, -las matemáticas, la física...- y a la hora de elegir la carrera yo tenía casi preferencias por estudiar una ingeniería, pero luego me di cuenta que me gustaba más entender los fenómenos a nivel fundamental y por eso me decanté por estudiar físicas.



Yo me dedico a la física cuántica y dentro de la física cuántica a varios temas relacionados con lo que se llama la información cuántica y los ordenadores cuánticos.

¿Hubo alguna lectura o algún profesor que influyeran en su decisión de estudiar física o de especializarse en física cuántica?

Más bien durante la carrera. Durante los estudios me decanté por la física cuántica por varias asignaturas que tuve, profesores, lecturas, pero ninguna en particular. Leí los libros que había por entonces de [Stephen] [Hawking](#) o [Steven] [Weinberg](#), pero fui más bien estimulado por las clases que tuve durante la carrera.

Y por los propios fenómenos de la naturaleza, me imagino.

Sí. La física cuántica combina fenómenos extraordinarios y por otra parte una teoría matemática bastante sofisticada y además tiene algunas implicaciones hasta filosóficas.

La física cuántica tiene que ver con fenómenos que no son familiares en la vida cotidiana. ¿Nos podría explicar algunos de estos fenómenos que nos resultan tan extraños y paradójicos?

Si uno coge un solo átomo con un solo electrón, y lo tira o lo bombardea a un blanco parece que ese átomo o ese electrón haya pasado por [dos lugares a la vez](#). La vida de ese átomo se desdobra y es como si viviese en dos [universos paralelos](#) en los que en uno pasa por un sitio y en otro pasa por el otro. Y el hecho es que no hay forma de describir estos fenómenos a menos que le haya pasado esto tan extraordinario al átomo. Es un [ejemplo](#).

El concepto de los universos paralelos resulta muy antintuitivo porque parece que se multiplican las realidades de forma innecesaria. La realidad parece que es una. ¿Realmente tenemos que pensar como si hubiera muchos universos?

No, es una forma de explicarlo. Yo le podría hablar con el lenguaje de la física cuántica y explicarle que las propiedades no están definidas, que tienen [superposiciones](#), etc. Pero a usted, si no es un físico cuántico, no le diría absolutamente nada. Sin embargo, existe una interpretación de la física cuántica que es más o menos opinable, pero es una interpretación que no es verificable, es decir, no podemos hacer un experimento que sepamos que la pueda [falsar](#) y esa explicación es bastante intuitiva y es pensar que realmente esas partículas se dividen en distintos universos. Por tanto, es una forma de interpretar lo que se llaman superposiciones.

[David Deutsch](#) está convencido de que realmente es la única lógica que tiene la física cuántica.

A la hora de explicar la física cuántica parte como cualquier teoría de una serie de axiomas, es decir, una serie de principios y a partir de ellos construye toda la teoría. Entonces hay gente a los que les gustaría ir más allá y entender esos axiomas y dar una interpretación a la naturaleza en términos de esos axiomas. Y ahí es cuando existen varias tendencias y una de ellas es la de los infinitos universos. Para mí son interpretaciones de la física cuántica, interpretaciones de estos axiomas de la física cuántica que no son experimentalmente verificables. Es decir, unos hechos experimentales tienen varias explicaciones y no hay ningún experimento que permita distinguir entre esas interpretaciones. Por tanto, es algo que va más allá de la física. Pero, eso sí, puede ayudar a entender, a interpretar las cosas, a que la gente lo entienda, pero eso no quiere decir que la realidad, en definitiva, tenga que ser así.

Esta es la forma en que lo veo. Hay gente, como David Deutsch, que va más allá y dice que la realidad es así, que los infinitos universos realmente existen. Y no solo para las partículas subatómicas, sino para nosotros también.

Creo que Deutsch se sirve de esta noción para explicar por qué podrían ir tan rápido los ordenadores cuánticos. Si una persona se pudiese desdoblar en 10, haría diez tareas en el tiempo en el que otro hace solo una.

Otra vez es lo mismo. Con los conceptos de la física cuántica es posible saber cómo funcionan los ordenadores cuánticos, pero las personas no especializadas no podrán entenderlos. Sin embargo, explicado en términos de múltiples universos entonces es más fácil entender por qué un ordenador cuántico funciona más rápido.

Como explicación, entonces, tiene su fundamento.

Es una interpretación muy útil para poder explicar algunos de los fenómenos, pero eso no quiere decir que la realidad sea así, que esos infinitos universos existan. De hecho, existen otras interpretaciones que no requieren el uso de los infinitos universos, sino que requieren el uso de lo que llamamos intercambio de información, más positivista. Existen varias interpretaciones de la física cuántica, todas ellas son razonables porque como digo no se puede diseñar un experimento que nos diga que estas interpretaciones son falsas. Entonces, si no es falsable, tampoco es opinable.

Y a mí me parece que para hacer comprensible la física cuántica, se sacrifica la propia realidad.

Pero tenga en cuenta que la física cuántica requiere un cambio de nuestra visión de la naturaleza muy drástico. Es decir, según la física cuántica, las propiedades de los objetos no están definidas, o no tienen por qué estar definidas mientras no los observamos y esto es un hecho que se puede experimentar. Uno está acostumbrado a que cuando ve un objeto y lo deja de mirar, el objeto todavía está ahí, tiene una posición, tiene un color; sus propiedades están definidas y no hace falta que las mire nadie. Sin embargo, en el mundo atómico sabemos que esto no es así. Que cuando dejamos de observar un objeto, sus propiedades no están definidas, no se puede hablar de la posición, no se puede hablar de su velocidad, no se puede hablar de la órbita de un electrón. No se puede hablar de la polarización de un fotón. Todas las propiedades dejan de tener sentido y por muy extraño que esto parezca las cosas son así y solo cuando las observamos entonces cambiamos las propiedades o definimos las propiedades. Los observadores somos parte de la realidad como observadores y eso no hay quien se lo quite a la física cuántica. Esto conlleva un cambio en nuestra visión de la naturaleza.

En relación con lo que ha dicho, tengo una curiosidad. La física cuántica describe una realidad incomprensible –tal como dijo Richard Feynman-, ¿cómo es posible obtener aplicaciones prácticas de algo incomprensible?

Vamos a ver, qué es entender, si le pregunto a usted, qué es entender?

Ahora mismo no le sé responder.

Entender es comparar, hacer una analogía con algo a lo que estamos acostumbrados. Es decir, si a nosotros nos dicen: ¿entiendes por qué las cosas se caen? Sí, porque estamos acostumbrados a ver que las cosas se caen.

Esto es lo que le pasa a la física cuántica. No la podemos entender en términos de las cosas que estamos acostumbrados a ver porque esas cosas no las vemos. Eso es a lo que se refería Feynman.

Esto es un hecho, pero por otra parte tenemos una descripción de la física cuántica y los que estamos acostumbrados a trabajar con ella la utilizamos para hacer predicciones, para ver fenómenos, utilizar estos fenómenos y en particular construir ordenadores y sistemas de comunicación.

No hay paradoja, entonces.

Le pasa como a alguien que no haya visto nunca un elefante, le ponen un elefante delante. No entenderá, dirá ¿qué es eso? Pero con el tiempo se acostumbra y lo puede utilizar.

En un ordenador común, hay un transistor que deja pasar la corriente eléctrica, o la detiene. Esos impulsos eléctricos se pueden transformar al lenguaje lógico de ceros y unos. El transistor hace como de puente entre la mecánica y la lógica, entre el hardware y el software. ¿Los ordenadores cuánticos funcionan de la misma manera?

Existe otra vez la analogía de los múltiples universos. Uno se puede imaginar que en un ordenador cuántico existen transistores que permiten tener las dos posibilidades al mismo tiempo; es decir, en un universo pasa corriente, mientras que en otro universo no pasa corriente. Por tanto, tenemos un 0 y un 1 a la vez. Y de la misma forma que podemos tener un 0 y un 1 a la vez, podemos tener dos ceros, dos unos, muchas posibilidades a la vez, todas ellas sobreviviendo, y entonces se utilizan todas estas superposiciones para hacer cosas que no son posibles con los ordenadores usuales.

A esto se le llama qubit.

El qubit, o bit cuántico (quantum bit) es un sistema físico, como los bites normales, que además de poder estar en 0 y 1, admite superposiciones en las que ambas opciones se encuentren a la vez.

Parece que la lógica común basada en el principio de identidad o el principio de no contradicción no sirven, no se pueden aplicar.

Pero se pueden adaptar al hecho de que existan todas estas posibilidades funcionando a la vez.

¿Es adaptable, o es necesario inventar una nueva lógica?

Es una lógica mucho más sofisticada en la que no solo existe el sí y el no, sino que existen todas las posibilidades intermedias y existen posibilidades en las que el sí y el no ocurran a la vez. Hay que pensar según las leyes de la física cuántica y esto da lugar a una lógica cuántica, que es la que se aplica en la programación y en los algoritmos cuánticos.

¿Cómo son los ordenadores cuánticos?

Están hechos con unos pocos átomos –ocho iones- que están metidos en un laboratorio muy grande repleto de equipos que los mantienen aislados completamente y separados de todos los átomos que hay alrededor. Juntamos los átomos en una cámara de vacío y con láseres y campos eléctricos y magnéticos se los mantiene sujetos y se manipulan, se pasan de ceros a unos, se crean estos universos, se destruyen, por medio de láseres.

Tengo entendido que se aíslan para que no se destruya la superposición.

Como he dicho anteriormente, este hecho de que las propiedades no están definidas ocurre cuando nadie los observa, cuando están completamente aislados. Si ahora empiezan a interactuar con otros sistemas, es como si los estuviesen observando y rompieran estas superposiciones, se definen las propiedades y se pierden todas las ventajas que tiene la física cuántica.

¿Ocurrirá algún día que los ordenadores cuánticos lleguen a las casas?

Pues la verdad es que no sé si esta sería su mayor utilidad. Los ordenadores que tenemos en las casas ya son muy potentes.

¿Sería concebible instalar un procesador de textos en uno de estos prototipos?

Realmente no tendría sentido.

¿Qué utilidades tienen los ordenadores cuánticos? Tengo entendido que sus aplicaciones se enfocan a la [encriptación](#).

Todo lo que sean cálculos muy grandes. Los ordenadores que tenemos en casa los queremos para jugar, para hacer declaraciones de la renta, para mirar internet, y los ordenadores que tenemos hoy en día ya son suficientemente rápidos para cubrir nuestras necesidades. Un ordenador cuántico sería para hacer cálculos enormes. Ahora existen centros computacionales que hacen cálculos enormes para predecir el clima.

En España creo que existe una red...

En España hay el [Marenostrum](#), que se encuentra en Barcelona, que es un superordenador. Las operaciones que se hacen aquí son los cálculos que previsiblemente podría realizar un ordenador cuántico de manera más eficiente y para los cuales serían útiles.

También tengo entendido que con los ordenadores cuánticos se podría romper la seguridad en la transferencia de información de los bancos, entre países... Si se desarrolla un ordenador cuántico, ¿se podrá recuperar la noción de seguridad?

Sí; de hecho, la física cuántica también permite un protocolo criptográfico, una forma de hacer comunicación que es segura incluso si tuviéramos un ordenador cuántico. No seríamos capaces de codificarla. Los ordenadores cuánticos podrían descifrar los métodos clásicos de criptografía, pero existe un método cuántico que es imposible de atacar.

El peligro entonces es que una persona o un país logre avanzar al resto y aprovecharse. ¿Se puede contemplar este peligro?

Por lo que sabemos, aún se tardará muchos años en construir un ordenador cuántico que pueda descifrar mensajes secretos. En 20 ó 30 años a lo mejor se puede construir, pero de momento estamos todavía muy lejos.

Entonces, ¿se puede llegar a pensar que los ordenadores cuánticos susciten una revolución tecnológica, como lo han supuesto los ordenadores convencionales?

La física cuántica se basa en leyes extraordinarias y esto da lugar a aplicaciones extraordinarias. Esta es la idea: cada vez que descubrimos nuevas leyes de la naturaleza, vienen aplicaciones importantes; en nuestro caso, la mayoría de aplicaciones importantes están por descubrir porque acabamos de tener acceso a la física cuántica, a poder dominar el mundo microscópico, pero lo que sí que sabemos es que en el campo de la comunicación y la computación seguro que habría aplicaciones, aunque estoy seguro de que también las habrá en otros campos, lo que pasa es que todavía no sabemos cuáles.

Usted ha trabajado también en el campo de la [teleportación](#). ¿En qué consiste?

La teleportación cuántica, el teletransporte cuántico, consiste en hacer que las propiedades de un objeto desaparezcan de un sitio y aparezcan en otro sitio distinto.

¿Ocurre de forma instantánea?

Es de forma más o menos instantánea. Las propiedades, la información que tiene un objeto, desaparecen de ese objeto y aparecen en otro objeto y no pasan por ningún sitio; esto es lo que es interesante; es decir, se podría poner una pared de modo que no pudiera pasar ninguna señal física, y a pesar de ello se podría teletransportar a través de la pared porque en realidad no pasa nada de un sitio a otro.

Y entonces, ¿qué es lo que se transporta? ¿La información?

Si uno pudiese tener uno de estos qubits, por ejemplo, en el estado cero o en el uno, o en una superposición, y tiene otro qubit en otro lugar, pues desaparece la información de un qubit y aparece en el otro.

La teoría de la relatividad de Einstein establece unos límites a la velocidad que pueden alcanzar los cuerpos. ¿Hay contradicción entre estas propiedades cuánticas y la relatividad? ¿Estaba Einstein equivocado?

Realmente, si uno va por todo el protocolo de teletransporte, se observa que para poder conseguir la información en el otro lado, tiene que pasar un tiempo proporcional a la distancia. Es decir, no hay ninguna violación de la teoría de la relatividad. Desaparece la información de un sitio, pero para recuperarla en el otro sitio hay que esperar un tiempo.

¿Se podría pensar que las personas se lleguen a teletransportar?

La verdad es que no; el teletransporte cuántico no permite el transporte de materia, de personas u objetos, solo transporta información.

¿Nos podría explicar en qué está trabajando ahora?

Una de las cosas que hacemos ahora es trabajar en redes cuánticas de información. De la misma forma que existen redes telefónicas para comunicarnos los unos con los otros, estamos diseñando redes para comunicarnos utilizando la física cuántica. Se tienen muchas ventajas a las que existen en las comunicaciones usuales. También estamos buscando otros sistemas físicos con los cuales construir ordenadores cuánticos. Estamos trabajando con electrones, cómo se pueden dominar y hacer que interaccionen los unos con los otros de tal forma que puedan realizarse computaciones con ellos. Estamos mirando también lo que se llaman [simuladores cuánticos](#), que es como dominar el mundo microscópico para poder hacer simulaciones de materiales que no sabemos hacer con ordenadores normales. Estos son algunos de los temas en los que nos estamos concentrando.

Usted ha dicho que para que se concrete un estado cuántico, hay que percibirlo. Hay que ser consciente de ese estado para que se decante en una posición u otra. Aquí interviene la conciencia. ¿Es necesario tener en cuenta la física cuántica para entender el fenómeno de la conciencia? Para muchos biólogos, la selección natural y la genética serán suficientes para entender este fenómeno. Y por otro lado, físicos como [Roger Penrose](#) han afirmado que son necesarias nuevas leyes físicas para entender este fenómeno.

Hay gente que piensa que la conciencia está relacionada con la física cuántica, pero yo esto no lo puedo afirmar, no soy ningún experto en el tema, nunca me he dedicado a pensar en las implicaciones que tiene la física cuántica en la conciencia. Sé que hay gente que trabaja en esto, pero el punto de vista que yo tengo y tiene otra mucha gente es mucho más pragmático, en el sentido de que la interpretación que nos convence de la física cuántica es aquella en la que lo que existe entre nosotros y la naturaleza es un intercambio de información y la física cuántica nos explica cómo se produce este intercambio de información. Para esto no hace falta ni aludir a la conciencia, ni nada parecido.

En las universidades españolas hay una tendencia a considerar que el conocimiento científico es una construcción mental sin referencia objetiva. El relativismo está vigente. ¿Qué piensa sobre esta cuestión?

Soy bastante pragmático; tenemos unas percepciones de la naturaleza y queremos ser capaces de explicarlas y predecirlas. Para ello elaboramos unas teorías y las teorías tienen que reflejar qué es lo que ocurre en la naturaleza. Al final todo se traduce en matemáticas. Eso no quiere decir que la naturaleza sea matemática, pero sí que puedan estar descritas por las matemáticas.

Lo que ocurre en la ciencia es que lo que nosotros podemos hacer es falsarlas, pero no verificarlas. ¿Es la teoría de la relatividad correcta? Lo que puedo decir es que describe ciertos experimentos, pero no puedo hacer todos los experimentos posibles porque son infinitos. Lo que sí que puedo hacer es a lo mejor encontrar un experimento en donde no sea correcta y por tanto la teoría es incorrecta. En física lo que podemos hacer es falsar teorías.

Karl Popper sigue vigente para describir la actividad científica.

Una vez que tenemos teorías como la física cuántica que se ha comprobado bajo condiciones muy extremas y en muchas condiciones distintas sabemos que es una teoría que describe el mundo microscópico hasta donde podemos llegar y vamos a utilizarla dentro de ese contexto y entonces sabemos que va a funcionar. Si se utilizan energías o escalas más grandes, esa teoría dejará de funcionar.

En la actualidad, la mejor descripción de la realidad es la física cuántica y con ella queremos construir ordenadores cuánticos. ¿Será posible que estos ordenadores nos permitan a su vez conocer mejor la naturaleza?

Sí, yo creo que es una de las aplicaciones más importantes de los ordenadores cuánticos. El hecho de que hoy en día hay partes de la naturaleza que no podemos entender precisamente porque no podemos realizar una serie de cálculos, no tenemos la tecnología necesaria para poder hacer esos cálculos, pero un ordenador cuántico nos daría ese acceso y yo estoy seguro que nos permitiría entender mucho más que lo que entendemos hoy en día sobre la física.