

“No conozco ninguna
 aventura en la
 historia de la
 humanidad tan
 extraordinaria como
 el surgimiento de la
 física cuántica”

ALAIN ASPECT

ALAIN ASPECT, nacido el 15 de junio de 1947 en Agen, Francia.

Fue galardonado con el Premio Nobel de Física 2022, compartido con John F. Clauser y Anton Zeilinger, por sus experimentos pioneros con fotones entrelazados que realizó entre 1981 y 1982 en el Institut d'Optique (Instituto de Óptica) en Orsay, Francia.

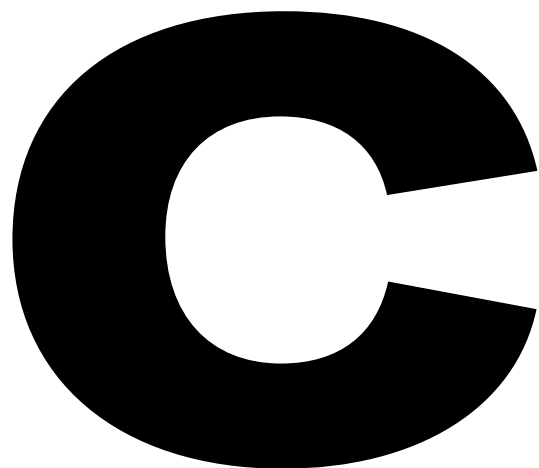
Actualmente es profesor en el Institut d'Optique Graduate School (Université Paris-Saclay) y en la École Polytechnique (Institut Polytechnique de Paris), Francia. También es director de investigación emérito en el CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique).

Inspiración cuántica

Inspiración cuántica

No es extraño que Alain Aspect hable de aventura. Podría decirse que el físico francés, Premio Nobel en 2022, sigue entrelazado con las novelas de Julio Verne que leía en su juventud. Aspect es un protagonista destacado en esa gesta que narra con entusiasmo, la cuántica. Disparando fotones en su laboratorio, demostró el entrelazamiento, ese fenómeno al que Einstein se resistía y llamó “acción fantasmal a distancia”.

Inspiración cuántica



Con los experimentos de Aspect, la cuántica dejó de ser filosofía y se hizo ciencia. Además, allanó el camino para el desarrollo de la computación y la encriptación cuántica, base para la seguridad de las máquinas venideras que transformarán el mundo (más todavía). Recibió el Premio Nobel de física 40 años después de aquellos experimentos y acaba de publicar un libro que recoge lo aprendido en este tiempo. Se titula *Si Einstein lo hubiera sabido* (Editorial Debate, 2025).

La primera pregunta es consecuencia directa del título de su libro... ¿Einstein habría cambiado de opinión si hubiera conocido sus experimentos? Me gusta pensar que quizá, como John Bell y yo mismo, habría aceptado la idea del entrelazamiento cuántico. Pero en muchos textos suyos muestra que, para él, el realismo era absolutamente esencial. Así que no creo que hubiera renunciado a esto. Después de pensar en ello durante 40 años y ser un gran admirador de Einstein, quizás mi cerebro es capaz de reproducir parte de su pensamiento, pero sería presuntuoso querer llegar a alguna conclusión de la que no quepa duda. Mi conjetura es que habría renunciado al localismo.

¿Realismo? ¿Localismo? Es el centro de tres décadas de debate entre Einstein y Bohr, considerada la mayor discusión intelectual del siglo pasado. ¿Es posible explicarlo en una respuesta?

“Lo que sabemos es una gota, lo que ignoramos es un océano”.
(Isaac Newton)

telos 129 | 05_2026

Según Einstein, el mundo está compuesto por objetos con propiedades definidas, a lo que él llama realidad física. Además, los objetos solo interactúan localmente (localismo). Para Einstein, la mecánica cuántica que describía Bohr era incompleta porque o bien violaba el localismo, lo que llamó “acción fantasmal a distancia”, o implicaba que no había realismo (las partículas no tenían propiedades fijas hasta medirse)

Bien, esta era la visión de Einstein. Algo que parece lógico, pero debemos renunciar a ella.

A día de hoy se han realizado numerosos experimentos que muestran que la naturaleza es “no-local” o “no-real” en el sentido clásico.

¿Cuál habría sido su reacción ante el hecho de tener que renunciar? Mi conjetura es que habría renunciado a la localidad.

El entrelazamiento cuántico es absolutamente increíble, pero el método científico nos permite hacer experimentos que lo demuestran. Por raro que parezca, así es el mundo.

El entrelazamiento es lo que usted demostró con sus experimentos y el comienzo de la cuántica como ciencia. ¿Cuál es esta propiedad tan extraordinaria? Imagina que tienes una máquina que lanza monedas aleatoriamente a dos personas distintas, a las que llamaremos Alice y Bob. Esas monedas son una metáfora de los fotones que yo usé en mis experimentos. Hasta que la moneda no llega a Alice, en el último momento, no tiene un valor definido, no sabemos si será cara o cruz. Cuando Alice mide su partícula, es decir, cuando coge la moneda y ve que es, por ejemplo, cara, el resultado de Bob se correlaciona inmediatamente, incluso a distancia. También para Bob saldrá cara en la moneda. Eso es lo que demostré en mi experimento de 1982, el que me llevó al Premio Nobel.

¿Usted fue el físico que demostró que Einstein estaba equivocado? Quiero matizar esta respuesta. Mucha gente dice que Einstein era un genio de la relatividad, pero que en realidad no entendía la mecánica cuántica. Esto es absolutamente falso. La persona más importante en el desarrollo de

“La ciencia no es magia. Como mago, no se me permite revelarles el truco. En ciencia es exactamente lo contrario: hay que explicar el truco”



Si Einstein lo hubiera sabido. Un siglo de debates y avances científicos (Debate, 2025), narra en primera persona la fascinante historia de la física cuántica, de la que Aspect es uno de sus protagonistas.

la física cuántica hasta 1924 fue Einstein. Quiero dejar esto claro. Y, sí, hay una paradoja en el sentido de que yo demostré que Einstein estaba equivocado. Pero estaba equivocado en un punto, en la forma en la que él quería interpretar el entrelazamiento. Así que cuando la gente dice: “Ah, ya veo, usted es el hombre que demostró que Einstein estaba equivocado”, yo respondo: “¡Espera! Hay algo más importante y es que Einstein fue quien anticipó que el entrelazamiento es algo tan extraordinario”.

¿Qué llevó a la cuántica? ¿Fue una crisis de la física clásica? A principios del siglo pasado tenían datos que la física clásica no les permitía comprender. Por ejemplo, sabían que la materia está compuesta por cargas positivas y negativas que se atraen entre sí. Entonces, ¿por qué no colapsa sobre sí misma debido a este hecho?

Otro ejemplo: cuando se calienta la materia, emite luz. Pero no podían entender esa luz emitida utilizando la física clásica. Se tardó 25 años en desarrollar la física cuántica completa, entre 1900 y 1925, llegando finalmente a una teoría que describe ambos fenómenos.

Ahora bien, este fue el primer paso para empezar a desarrollar una buena teoría. Pero el segundo paso es más complejo, una teoría buena debe predecir fenómenos nuevos, no solo explicar los antiguos. Así que requería encontrar predicciones que nadie había comprobado nunca.

¿Por ejemplo, el entrelazamiento cuántico? Así es. El entrelazamiento estaba en las ecuaciones, pero nadie lo había observado directamente. La serie de experimentos que realicé, junto a los de John Clauser y Anton Zeilinger, demostraron que, por extraordinario que sea, el entrelazamiento es una característica real del mundo.

El método científico exige que las nuevas predicciones de una teoría sean corroboradas por el experimento. Solo así podemos saber que ►

Inspiración cuántica

telos 129 | 05_2026

se está en terreno seguro. Esto es lo que más me interesa explicar, como profesor, y lo que intento hacer en mi libro: la solidez del método científico.

¿Qué es lo que hace que la cuántica sea más extraordinaria que otros avances como los de Galileo o Newton? La física clásica fue un gran esfuerzo. Las revoluciones galileana y newtoniana son extraordinarias. Pero la mecánica cuántica es algo totalmente diferente. Describe objetos en un espacio abstracto. Cuando intentas representar la mecánica cuántica en nuestro espacio, el resultado es una locura. He leído mucho, muchos artículos científicos, y no puedo entender cómo llegaron a esa maravillosa teoría que es la física cuántica. Es realmente genial. ¡Aquellas personas eran genios! No conozco ninguna aventura en la historia de la humanidad tan extraordinaria como el surgimiento de la física cuántica.

Sé que usted es un mago aficionado y que hace trucos con cartas. ¿Lo utiliza para explicar física a sus alumnos? No es nada pedagógico, es solo una afición. Cuando hago trucos de magia delante de mis compañeros o colegas físicos, gente que ya sabe física, le pongo “palabras cuánticas”. Supongamos que hago un truco y parece que la carta salta del mazo a mi mano. Entonces digo: “Todos sabéis que esto es, por supuesto, el efecto túnel cuántico”. Pero nunca uso trucos de magia delante de mis alumnos, lo hago para entretener a mis amigos.

La ciencia no es magia. Como mago, no se me permite revelarles el truco. En ciencia es exactamente lo contrario: hay que explicar el truco.

¿Y usted es de ese tipo de persona que quiere saber cuál es el truco? Sí. Es la primera vez que pienso en esa comparación y me parece interesante. Cuando veo un espectáculo de magia la mayoría de las veces no entiendo lo que realmente está pasando. Sé que hay un truco y estoy satisfecho con eso. En física cuántica, hay quien observa el experimento, confirma los resultados y se conforma con eso. La actitud es que no hace falta preocuparse por “qué significa realmente” la

“Los gobiernos no tienen otra opción. Si un país no invierte en computación cuántica, y resulta tan extraordinaria como creemos, estará perdido”

mecánica cuántica; basta con usar sus ecuaciones para predecir resultados experimentales. Es la física que se conoce como el “cállate y calcula”, no trates de entender por qué. Pero yo quiero saber más allá del cálculo, quiero conocer el truco. El problema es que, cuando realmente intento descubrir el truco, me encuentro con esta loca idea de la *no localidad*, que parece magia.

Hay quien asocia esa loca idea que menciona, el entrelazamiento cuántico, con la teletransportación o la telepatía. ¿Es esta una de las razones por las que la cuántica resulta tan atractiva para la sociedad? Eso es una tontería. Hay tecnologías extraordinarias en camino que no son tan descabelladas como la telepatía o la teletransportación. Creo que la razón por la que la gente está entusiasmada con el desarrollo de las tecnologías cuánticas es por su impacto en la historia. La mecánica cuántica permitió la invención del transistor y, colocando muchos transistores en un chip, se obtiene un ordenador. También permitió la invención del láser. Los ordenadores y los láseres han tenido un profundo impacto en la sociedad. Ahora bien, estamos ante algo totalmente nuevo. Existe la esperanza de que, utilizando el entrelazamiento y el hecho de que podemos manipular objetos cuánticos, se desarrollen nuevas aplicaciones tan extraordinarias como lo han sido los ordenadores con transistores.

Cuando hizo sus experimentos, ¿pensó que tendrían aplicación? Justo después de hacer el experimento no tenía ni idea de que algún día habría aplicaciones. Para mí, todo había terminado. Había zanjado el debate entre Bohr y Einstein, y ya está. Después supe su importancia en el desarrollo de la criptografía cuántica. Pero nunca imaginé en absoluto que eso pudiera llevarme al Premio Nobel.

¿En qué momento nos encontramos en el desarrollo de la computación cuántica? ¿Dónde estamos? Estamos en medio. Hay avances espectaculares. Hace unos años ni siquiera se podía soñar que la gente fuera capaz de entrelazar cientos, quizá miles de cúbits, con una excelente fidelidad cuántica. Hay avances increíbles en el *hardware*, es decir, en el tipo de sistema que usamos: átomos neutros, iones, fotones, circuitos superconductores, etc. Cada rama ha progresado mucho, y nadie puede decir si una es mejor que la otra. Y esto es emocionante.

Hay que darse cuenta de que aún no tenemos el ordenador cuántico ideal que corrija los errores. Necesitamos trucos matemáticos para

Einstein, Bohr, Alain Aspect y la disputa por el entrelazamiento cuántico

Lo que sostenían Albert Einstein y la física clásica Realismo y localismo: la realidad a cualquier escala está compuesta por objetos con propiedades definidas, independiente de que podamos o no conocerlas; además, un objeto físico solo puede estar influenciado por su entorno inmediato (localismo) y nada puede viajar a una mejor velocidad que la de la luz. Crucial para la relatividad de Einstein, que ve el universo como un conjunto de causas y efectos bien ordenados.

Lo que sostenían Niels Bohr y la física cuántica Entrelazamiento cuántico: en contra del principio de localidad, el entrelazamiento indica que partículas como fotones o electrones entrelazados pueden influenciarse mutuamente a cualquier distancia. Lo que viola el principio de localidad y sugiere que la información se transmite a una velocidad superior a la de la luz.

El experimento de Alain Aspect realizado en 1982: usó pares de fotones emitidos en direcciones opuestas hacia detectores situados a 12 metros. El resultado fue monumental: mostró que existen acciones instantáneas entre objetos separados, el entrelazamiento cuántico, violando el principio de localidad que defendía Einstein y dándole base experimental a Niels Bohr.

reconocer que hay un error y corregirlo. Esta es una tarea extremadamente difícil. Pero progresa todo el tiempo.

Por ejemplo, Ignacio Cirac, que es un teórico, está totalmente involucrado en el desarrollo de ecuaciones.

Por otro lado, hay cientos de matemáticos que trabajan en cómo podemos utilizar de manera eficiente los ordenadores cuánticos, ya sea el que tenemos ahora o cuando tengamos uno ideal.

¿Podemos confiar en la seguridad de la criptografía cuántica? La criptografía cuántica es diferente por naturaleza a la computación clásica. La seguridad del sistema que tenemos ahora se basa en la hipótesis de que tu adversario no es mucho más avanzado que tú, ya sea con computadoras o en matemáticas. Pero la criptografía cuántica se basa en las leyes fundamentales de la física. Por lo tanto, a menos que demostremos que es errónea, es absolutamente segura. Sea cual sea el nivel de tu adversario.

Entonces, para usted, ¿es una buena idea que los gobiernos y personas como yo invirtamos en la computación cuántica? Los gobiernos no tienen otra opción. Si no invierten en la computación cuántica y resulta tan extraordinaria como creemos, estarán perdidos.

¿Y sobre la gente de a pie? ¿Qué hago con mis ahorros? Esto se llama capital riesgo. Así que, está en tus manos.

Permítame terminar con una pequeña frivolidad; sé que, entre otras muchas cosas, usted está interesado en cocinar un huevo perfecto. ¿Qué es un huevo perfecto? Bueno, es una tecnología. Un huevo perfecto es un huevo cocido a 64 °C. Para hacerlo necesitas un termostato, una máquina que mantenga el agua a esa temperatura. Pero lo importante no es solo el huevo, es lo que se pone encima. Lo que yo pongo es trufa, *foie-gras* y cosas por el estilo. Esto es lo importante. 