



## Teleportación cuántica a larga distancia, posible gracias a memorias cuánticas multiplexadas

En un artículo publicado en *Nature Communications*, investigadores del ICFO logran demostrar teleportación cuántica entre un fotón y un qubit de estado sólido a través de una distancia de 1 km, utilizando memorias cuánticas multiplexadas.

April 19, 2023

---

La teleportación cuántica es una técnica que permite enviar información cuántica entre dos objetos cuánticos distantes, un emisor y un receptor, utilizando un fenómeno llamado entrelazamiento cuántico como recurso. La característica única de este proceso es que la información no se transmite mandando bits cuánticos (qubits) a través de un canal de comunicación que conecte a las dos partes; sino que la información se destruye en un lugar y aparece en el otro sin viajar físicamente entre los dos. Este sorprendente fenómeno solo ocurre gracias al entrelazamiento cuántico y junto con la transmisión de lo que hoy en día conocemos como bits clásicos.

Hoy en día existe un interés considerable en la teleportación cuántica en el campo de las comunicaciones cuánticas y las redes cuánticas porque permitiría la transferencia de bits cuánticos entre nodos de la red a través de distancias muy largas, utilizando el entrelazamiento previamente distribuido. Tal técnica facilitaría la integración de estas tecnologías cuánticas en redes de telecomunicaciones actuales y permitiría extender las comunicaciones ultra-seguras a distancias muy largas.

La teleportación cuántica fue propuesta teóricamente a principios de los años 90s y varios grupos de todo el mundo llevaron a cabo demostraciones experimentales. Si bien la comunidad científica ha adquirido una amplia experiencia sobre cómo realizar estos experimentos durante estos años, todavía hay una pregunta abierta sobre cómo teleportar información de manera práctica, permitiendo una comunicación cuántica confiable y rápida a través de una red extensa.

Dicha infraestructura debería ser compatible con la red de telecomunicaciones actual. Además, para el protocolo de teleportación cuántica se necesita que se aplique una operación final sobre el qubit con la información teleportada, una característica que se denomina *feed-forward activo*, para permitir que la transmisión de la información e pueda hacer fielmente y a mayor velocidad. Para esto, el receptor debe poseer un dispositivo o conocido como memoria cuántica que pueda almacenar el qubit sin degradarlo hasta que e pueda implementar la operación final. Finalmente, esta memoria cuántica debería poder operar de manera *multiplexada* o *multimodal* para maximizar la velocidad de teleportación de información cuando el remitente y el receptor están lejos. Hasta la fecha, ninguna implementación había incorporado estos mencionados requisitos en la misma demostración.

En un estudio reciente publicado en Nature Communications, los investigadores del ICFO **Dario Lago-Rivera**, **Jelena V. Rakonjac** y **Samuele Grandi**, dirigidos por el Prof. ICREA del ICFO **Hugues de Riedmatten**, han logrado la teleportación a larga distancia de información cuántica de un fotón a un qubit de estado sólido, es decir, un fotón almacenado en una memoria cuántica multiplexada. La técnica involucró el uso del *feed-forward activo* (esquema de prealimentación activa), que, junto con la multimodalidad de la memoria, ha permitido maximizar la tasa de teleportación. La arquitectura del experimento propuesta ha demostrado ser compatible con los canales de telecomunicaciones y, por lo tanto, permitiría la futura integración y escalabilidad para la comunicación cuántica de larga distancia.

### Como conseguir teleportación cuántica?

El equipo construyó dos estaciones experimentales, que en la jerga de la comunidad suele llamarse Alice y Bob. Ambas estaban conectadas por una fibra óptica de 1 km enrollada en un carrete, para emular una distancia física entre las partes.

Tres fotones estuvieron involucrados en el experimento. En la primera configuración, Alice, el equipo usó un cristal especial para crear dos fotones entrelazados: el **primer fotón a 606 nm**,

llamado foton **senal (foton 1)**, y el **segundo foton de 1436nm** llamado foton **inactivo (foton 2)**, compatible con la infraestructura de telecomunicaciones. Una vez creado, *¿guardamos* el primer foton de 606 nm en Alice y lo almacenamos en una memoria cuantica de estado solido multiplexada, manteniendolo en la memoria para su procesamiento futuro. Al mismo tiempo, tomamos el foton de telecomunicaciones creado en Alice y lo enviamos a traves de un kilometro de fibra optica para llegar a la segunda estacion experimental, llamada Bobi? *¿recuerda Dario L*

go. En esta segunda configuracion, Bob, los cientificos tenian otro cristal donde crearon un **tercer foton (foton 3)**, donde habian **codificado el bit cuantico** que querian teleportar. Una vez que se creo el tercer foton, el segundo foton de 1436nm llego a Bob desde Alice, y aqui es donde tiene lugar el peso del experimento de teleportacion.

### **Teleportando informacion a 1km de distancia**

Los fotones 2 y 3 interfirieron entre si a traves de lo que se conoce como medicion de estado de Bell (BSM o Bell State Measurement en ingles). El efecto de esta medicion fue mezclar el estado de los fotones 2 y 3. Gracias a que el foton 1 y el foton 2 estaban entrelazados desde un principio; es decir, sus propiedades estaban correlacionadas, el resultado del BSM fue el de transferir la informacion codificada en el foton 3 al foton 1, almacenado por Alice en la memoria cuantica, a 1 km de distancia. Como mencionan Dario Lago y Jelena Rakonjac, *¿somos capaces de transferir informacion entre dos fotones que nunca antes estuvieron en contacto, pero conectados a traves de un tercer foton que si estaba entrelazado con el primero. La singularidad de este experimento radica en el hecho de que empleamos una memoria cuantica multiplexada capaz de almacenar el primer foton durante el tiempo suficiente para que, cuando el primer dispositivo, Alice, supiera que la interaccion habia ocurrido, todavia pudieramos procesar la informacion teleportada tal y como lo describe el protocolo?*

*¿Este procesamiento?* *¿mencionado por Dario y Jelena fue la tecnica de feed forward activo comentado anteriormente. Dependiendo del resultado del BSM entre los fotones 2 y 3, se aplico un cambio de fase al foton 1 despues del almacenamiento en la memoria. De esta forma, siempre se codificaria el mismo estado en el primer foton ya que, sin esto, la probabilidad de los eventos de teleportacion tendrian que descartarse. Por otro lado, la multimodalidad/multiplexacion de la memoria cuantica les permitio aumentar la tasa de teleportacion mas alla de los limites impuestos por la separacion de 1 km entre ellos, sin degradar la calidad del qubit teleportado. Esto dio, como resultado, una tasa de teleportacion tres veces mayor que la de una memoria cuantica mono-modal, limitada principalmente por la velocidad de la luz.*

### **Escalabilidad e Integracion**

El experimento realizado por este grupo en el año 2021, donde lograron por primera vez

entrelazar dos memorias cuanticas multimodales separadas por 10 metros y anunciadas por un foton en la longitud de onda de las telecomunicaciones, ha sido el precursor de este experimento.

Como enfatiza Hugues de Riedmatten, ¿la teleportacion cuantica sera crucial para permitir la comunicacion a larga distancia de alta calidad para el Internet cuantico del futuro. Nuestro objetivo es implementar la teleportacion cuantica en redes cada vez mas complejas, con entrelazamiento previamente distribuido. La naturaleza de nuestros nodos cuanticos (multiplexada y de estado solido), asi como su compatibilidad con la red de telecomunicaciones, los convierte en un candidato prometedor para su implementacion a larga distancia en la red de fibra instalada?

½. A pesar de tener estos resultados importantes, ya estan en marcha mejoras al experimento. Por un lado, el equipo se esta centrando en desarrollar y mejorar la tecnologia para extender esta configuracion a distancias mucho mas largas manteniendo la eficiencia y las tasas de teleportacion mencionadas. Por otro lado, tambien apuntan a estudiar y utilizar esta tecnica para la transferencia de informacion entre diferentes tipos de nodos cuanticos, con el fin de poder establecer un futuro Internet cuantico que podra distribuir y procesar informacion cuantica entre partes remotas

as

**Referencia:** Long distance multiplexed quantum teleportation from a telecom photon to a solid-state qubit, Dario Lago-Rivera, Jelena V. Rakonjac, Samuele Grandi & Hugues de Riedmatten, [Nature Communications volume 14, 1889 \(2023\)](#).

