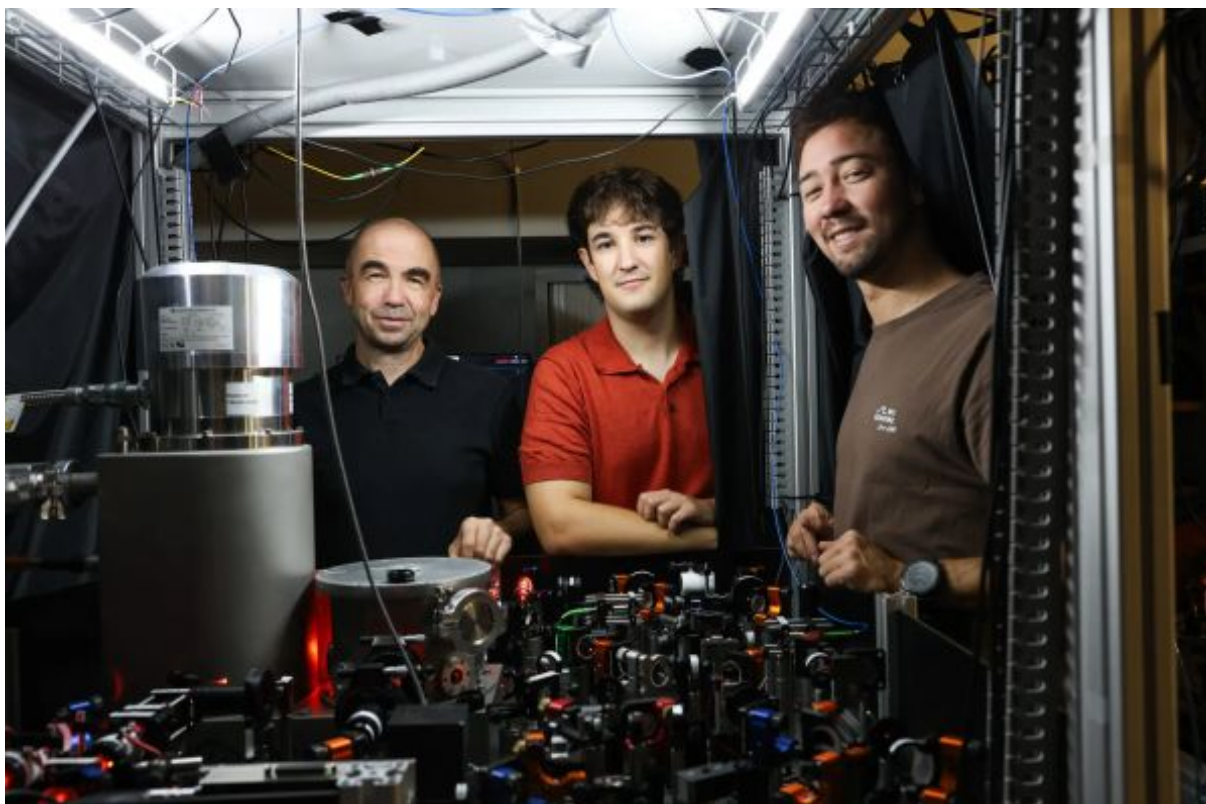




Una memoria cuantica de reenfase de espin para fotones individuales

Investigadores del ICFO han aplicado un mecanismo de reenfase de espin para almacenar luz cuantica en una memoria cuantica de estado solido. El equipo ha logrado almacenar fotones individuales por el mayor tiempo registrado hasta la fecha en este tipo de memoria, dando asi un paso importante hacia la internet cuantica. El estudio se ha publicado hoy en *Physical Review Letters*.

September 23, 2026

Constantemente enviamos informacion entre nosotros, transmitiendo ceros y unos a traves de una enorme red de ordenadores y dispositivos conectados. Actualmente, los cientificos intentan extender este concepto tan familiar del internet al ambito cuantico, buscando una forma eficiente de intercambiar informacion cuantica en vez de clasica, [cubits](#) en lugar de bits. La motivacion detras de esta busqueda no es solo curiosidad cientifica. Los cubits abren nuevas posibilidades para procesar informacion, ya que pueden ser un 0, un 1, o cualquier superposicion de ambos. Ademias, pueden [entrelazarse](#), mostrando un grado de correlacion

que resulta simplemente inalcanzable para los bits clásicos.

Un elemento clave para hacer posible la internet cuántica es el [repetidor cuántico](#), una arquitectura diseñada para distribuir entrelazamiento a largas distancias que, a su vez, requiere de memorias cuánticas para funcionar. Estas deben ser capaces de conservar un estado cuántico durante un periodo de tiempo suficientemente largo como para sincronizar medidas entre distintos segmentos de la red y, así, establecer con éxito el entrelazamiento. Los investigadores del ICFO **Alberto Rodríguez Moldes**, el **Dr. Felicien Appas**, **Jonathan Hanni**, la **Dra. Jelena Rakonjac**, y el **Dr. Samuele Grandi**, dirigidos por el **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han dado ahora un paso importante en esta dirección. Implementando el llamado **protocolo de reenfase de espin**, han demostrado que las **memorias cuánticas de estado sólido** -candidatas prometedoras para construir redes cuánticas gracias a su ya demostrada alta eficiencia, su capacidad para almacenar entrelazamiento y sus propiedades de multiplexado- **pueden almacenar fotones individuales durante más tiempo del que se había conseguido** hasta ahora. Estos resultados, publicados en Physical Review Letters y obtenidos en el marco de la [Quantum Internet Alliance \(QIA\)](#), nos acercan un poco más a la internet cuántica.

El desfase, el principal obstáculo al almacenar fotones

En el experimento presentado, el equipo generó primero un par de fotones entrelazados. Uno tenía una longitud de onda de telecomunicaciones, compatible con la fibra óptica para su distribución a larga distancia; el otro era compatible con la memoria cuántica, un cristal dopado con iones de praseodimio enfriado a 3 kelvin en un criostato. Allí tuvo lugar el conocido protocolo de Peine de Frecuencias Atómicas (AFC, por sus siglas en inglés). En el protocolo AFC, los átomos del cristal absorben colectivamente el fotón entrante de modo que uno de ellos se excita a un nivel de energía superior, creando una excitación atómica deslocalizada entre todos los átomos. Antes de que puedan reemitir el fotón de forma natural, se envía un pulso óptico de control para transferir la excitación colectiva al estado de espin, un nivel que no emite luz, con lo que se detiene la emisión y se almacena el fotón. Más tarde, un segundo pulso de control devuelve el conjunto al estado excitado, provocando la emisión de un fotón que transporta la misma información que el original. El problema es que, en la práctica, la excitación colectiva no puede permanecer indefinidamente en el estado de espin. Como el entorno cristalino es ligeramente distinto para cada ion, la superposición inicial se desfasea y pierde coherencia. Si el tiempo de almacenamiento es demasiado largo, las propiedades cuánticas del fotón emitido se degradan y la información se pierde por el camino.

Protocolo de reenfase de espin para almacenar fotones individuales con correlaciones cuánticas

Aquí es donde entra en juego el reenfase de espin, un mecanismo que contrarresta estos

efectos de decoherencia. Consiste en enviar una serie de pulsos de radiofrecuencia que invierten la fase que cada ion ha acumulado tras un determinado tiempo. Después, basta con esperar el mismo periodo para que la nueva fase acumulada compense la que se invirtió, restaurando así la excitación colectiva de espín.

El equipo envió, por tanto, múltiples pulsos de radiofrecuencia para controlar con precisión cuando esta secuencia de "inversión" y "espera" reenfasaría realmente la excitación colectiva. Llegado ese punto, enviaron el segundo pulso de control y realizaron la lectura de la memoria cuántica. Los investigadores del ICFO consiguieron así almacenar fotones individuales durante hasta **180 microsegundos (el periodo más largo registrado para este tipo de memoria)**, lo que equivale a una distancia de fibra de **más de 30 km**. "En el futuro, se podrán conseguir tiempos de almacenamiento aun mayores aplicando pequeños campos magnéticos a la memoria cuántica", explica Alberto Rodríguez Moldes, primer autor del artículo.

Cabe destacar que los investigadores realizaron el experimento utilizando **luz cuántica**, y demostraron la **presencia de correlaciones cuánticas entre la memoria cuántica de reenfase de espín y el fotón de telecomunicaciones**. "El reenfase de espín ya se había demostrado en el pasado con luz de entrada clásica, pero nuestros resultados muestran que puede extenderse a la cuántica", explica el profesor ICREA Hugues de Riedmatten, investigador principal del estudio. "**Nuestro esquema establece así las memorias cuánticas dopadas con praseodimio como una de las principales candidatas para implementar y escalar las redes cuánticas.**"

Referencia:

Rodríguez-Moldes, A. E., et. al., Long-lived telecom-heralded single-photon storage in an absorptive spin-rephased quantum memory, Phys. Rev. Lett. (2026)

DOI: <https://doi.org/10.1103/ftkb-pkvp>

Agradecimientos:

This project received funding from: Gordon and Betty Moore Foundation (GBMF7446 to H. d. R); Agencia de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca; Centres de Recerca de Catalunya; Fundació Privada MIRPUIG; Fundació Cellex; Ministerio de Ciencia e Innovación with funding from European Union NextGeneration funds (MCIN/AEI/10.13039/501100011033, PRTRC17.I1); Agencia Estatal de Investigación (PID2023-147538OB-I00, Severo Ochoa CEX2024-001490-S); European Union research and innovation program within the Flagship on Quantum Technologies through Horizon Europe project QIA-Phase 1 under grant agreement no. 101102140 and from the Secretariat of Digital Policies of the Government of Catalonia - G.A. GOV/51/2022. F.A. acknowledge funding from the European Union's Horizon 2022 research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie grant agreements

No 101104148 (IQARO). S.G. acknowledges funding from $\frac{1}{2}$ la Caixa $\frac{1}{2}$ Foundation (ID 100010434; fellowship code LCF/BQ/PR23/11980044). J.H. acknowledges funding from the $\frac{1}{2}$ Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya $\frac{1}{2}$ under grant.

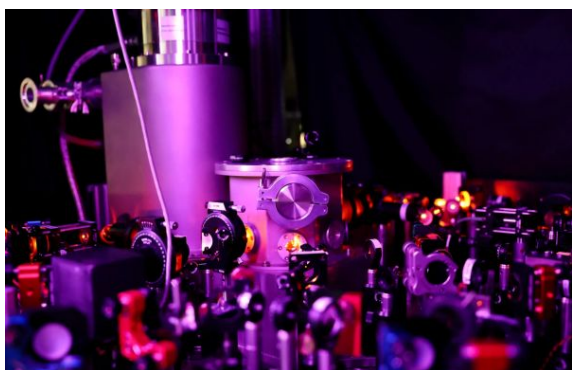
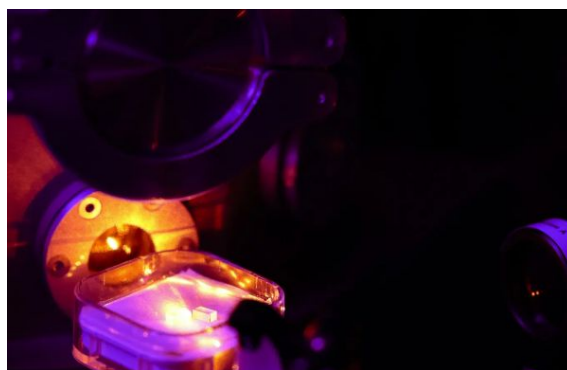


Imagen del montaje experimental. Credito: ICFO.



Primer plano de las memorias cuanticas. Credito: ICFO.