



Interconectando memorias cuánticas para el internet cuántico

El entrelazamiento cuántico no solo es una de las características más fascinantes de la mecánica cuántica, sino también la piedra angular de muchas aplicaciones con un gran potencial a futuro, como la posibilidad de interconectar ordenadores o sensores cuánticos distantes, o garantizar comunicaciones ultraseguras. Investigadores del ICFO han alcanzado recientemente un hito hacia la distribución del entrelazamiento a largas distancias, lo que podría convertirse en uno de los bloques fundamentales de un internet cuántico a escala mundial. Los resultados se presentan en *Physical Review X*.

October 07, 2025

El entrelazamiento se transmite mediante partículas individuales de luz, o fotones, que viajan a través de canales ópticos como fibras ópticas, los cuales están sujetos a pérdidas inevitables. Para mitigar esto, hace varias décadas se propusieron análogos cuánticos de los repetidores clásicos, los cuales son omnipresentes en las telecomunicaciones ópticas de hoy

en día. En particular, los repetidores cuánticos buscan extender la comunicación cuántica a grandes distancias. Para ello, distribuyen el recurso cuántico del entrelazamiento a través de pequeños segmentos sucesivos, donde las pérdidas son menores, y en cada segmento guardan dicho entrelazamiento en un dispositivo llamado memoria cuántica.

Investigadores del ICFO, Jonathan Hanni, Alberto Rodríguez-Moldes, el Dr. Felicien Appas, el Dr. Soeren Wengerowsky, el Dr. Dario Lago-Rivera, el Dr. Markus Teller, el Dr. Samuele Grandi, dirigidos por el **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten, han implementado ahora un enlace de entrelazamiento entre dos memorias cuánticas de estado sólido con recuperación bajo demanda como prueba de concepto**, lo cual constituye un recurso esencial para la realización de **repetidores cuánticos**.

El entrelazamiento se crea utilizando fuentes de pares de fotones en cada nodo, almacenando un fotón en las memorias cuánticas mientras que el otro fotón (con una longitud de onda de telecomunicaciones) se envía a una estación central donde es detectado de una manera especial, lo cual borra la información sobre su origen. Esta detección anuncia la presencia de entrelazamiento en las memorias cuánticas, el cual se almacena y recupera bajo demanda, pudiéndose ajustar el momento de recuperación a conveniencia.

Esta capacidad de **almacenar y recuperar el entrelazamiento bajo demanda** es una característica crucial para la sincronización temporal de las distintas secciones de un repetidor cuántico, y representa uno de los principales logros del trabajo, el cual ha sido publicado recientemente en *Physical Review X*. El tipo de memorias utilizado por los investigadores (un cristal dopado con tierras raras) permite la distribución del entrelazamiento de manera multiplexada en el tiempo, lo que significa que se pueden emplear múltiples $i\frac{1}{2}$ vacantes*i\frac{1}{2}* temporales dentro de la misma memoria cuántica para intentar generar entrelazamiento. Esto, a su vez, incrementa la tasa de distribución de entrelazamiento, como se demostró en el estudio.

Con el rendimiento actual del sistema, ya podría implementarse un enlace cuántico de algunos kilómetros. Los investigadores esperan que futuras mejoras permitan extender esta distancia a varias decenas de kilómetros, lo que eventualmente posibilitaría la conexión de ciudades distantes. Según el Dr. Felicien Appas, uno de los primeros coautores del estudio: *Estos resultados establecen nuestra arquitectura como un candidato principal para la implementación del futuro internet cuántico, algo a lo que esperamos, con gran entusiasmo, poder contribuir*

Referencia:

Hanni, A. E. Rodríguez-Moldes, F. Appas, S. Wengerowsky, D. Lago-Rivera, M. Teller, S. Grandi, H. de Riedmatten, Heralded entanglement of on-demand spin-wave solid-state quantum memories for multiplexed quantum network links, *PRX* **15**, 041003 (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1103/wv1-6lg8>

Acknowledgements:

This project received funding from Gordon and Betty Moore Foundation (GBMF7446 to H.d.R); Agencia de Gestio d'Ajuts Universitaris i de Recerca; Centres de Recerca de Catalunya; Fundacio Privada MIR-PUIG; Fundacion Cellex; Ministerio de Ciencia e Innovacion with funding from European Union NextGeneration funds (MCIN/AEI/10.13039/501100011033, PLEC2021-007669 QNetworks, PRTR-C17.I1- Plan Complementario de Comunicaciones Cuanticas); Agencia Estatal de Investigacion (PID2023-147538OB-I00, Severo Ochoa CEX2019-000910-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. and M.T. acknowledge funding from the European Union's Horizon 2022 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie Grant Agreements No. 101104148 (IQARO) and No. 101103143 (2DMultiMems), respectively. S.G. acknowledges funding from i½la Caixa Foundation (ID 100010434; fellowship code No. LCF/BQ/PR23/11980044). J.H. acknowledges funding from the i½Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya under Grant No. 2024 FI-2 00059, as well as the European Social Fund Plus.