

## El conjunt de memòries quàntiques en sèrie de l'ICFO ens apropa a la RAM quàntica

Els investigadors de l'ICFO han desenvolupat un conjunt de deu memòries quàntiques en sèrie. Podent-se controlar individualment, aquestes memòries poden emmagatzemar múltiples qubits (l'analog quàntic del bit) de manera simultània i recuperar-los quan sigui necessari. Aquest assoliment constitueix un gran pas cap a la realització de sistemes de memòria quàntica que funcionin amb la mateixa flexibilitat que les actuals memòries d'accés aleatori (conegudes com a RAM, per les seves sigles en anglès).

Aquest sistema d'estat sòlid, anunciat a Physical Review X, es basa en una configuració prèviament desenvolupada pels mateixos investigadors amb 250 espais vacants per al potencial emmagatzematge de la foto, la qual cosa constitueix l'actual rècord mundial per a un dispositiu d'aquestes característiques. Això ens acostava a l'equivalent quàntic d'una memòria RAM, e

## qual es clau per avançar en computació i comunicació quàntiques.

August 26, 2025

Internet, les xarxes socials i les tecnologies digitals han transformat completament la manera com establim relacions comercials, personals i professionals. En essència, aquesta societat depèn de l'intercanvi d'informació expressada en termes de bits. Aquesta unitat bàsica d'informació pot ser un 0 o un 1, i sol representar-se en circuits elèctrics, per exemple, com dos nivells de voltatge (un que representa el bit en estat 0 i l'altre en estat 1).

La capacitat d'emmagatzemar i manipular bits de manera eficient constitueix la base de l'electrònica digital i permet que els dispositius moderns realitzin una gran varietat de tasques, des d'enviar correus electrònics i reproduir música fins a fer simulacions numèriques. Tots aquests processos són possibles gràcies a components de hardware claus com les memòries d'accés aleatori (RAM), les quals permeten emmagatzemar dades temporalment i recuperar-les a petició.

En paral·lel, els avenços en física quàntica han donat lloc a un nou tipus d'unitat d'informació: el qubit. A diferència dels bits clàssics, que són estrictament 0 o 1, els qubits poden existir en una superposició d'ambdós estats alhora. Aquesta peculiaritat obre noves possibilitats per a processament i l'emmagatzematge d'informació, tot i que les seves implicacions pràctiques encara s'estan explorant.

Els futurs ordinadors quàntics i internet quàntic requeriran, de la mateixa manera que els clàssics, memòries quàntiques (en particular, memòries quàntiques d'accés aleatori) per emmagatzemar i recuperar qubits. Malgrat que existeixen diversos enfocaments per codificar qubits i implementar memòries quàntiques, encara cap d'ells s'ha consolidat com opció estàndard.

Ara, els investigadors de l'ICFO, **Dr. Markus Teller**, la **Susana Plascencia**, la **Cristina Sastre Jachimska** i el **Dr. Samuele Grandi**, sota la direcció del **Prof. ICREA Hugues de Riedmatten**, han assolit una fita important en el desenvolupament de memòries quàntiques d'estat sòlid, una de les plataformes més prometedores per a l'emmagatzematge d'informació quàntica. En un article recent a *Physical Review X*, utilitzen un conjunt de deu memòries en sèrie controlables individualment per emmagatzemar qubits en combinacions arbitràries d'aquestes cel·les de memòria i després recuperar-los a voluntat. Aquests resultats es basen en una publicació anterior a *npj Quantum Information*, on van introduir per primera vegada aquest conjunt.

La seva feina s'ha centrat en dues codificacions de qubits àmpliament utilitzades en tecnologies quàntiques fotoniques: la codificació per trajectòria, on el qubit es defineix per la memòria on entra el foto, i la codificació per intervals temporals, on el qubit es codifica segons el moment d'arribada del foto (en un interval de temps anterior o posterior). En aquest darrer cas, l'equip va implementar una característica única en el seu enfocament: la

possibilitat d'emmagatzemar fotons en múltiples intervals de temps dins de cada cel·la de memòria

### **Deu cel·les, un cristall: avenços en comunicacions i computació quàntica**

En l'article de npj Quantum Information, l'equip va crear la formació de deu memòries quàntiques utilitzant un cristall dopat amb praseodimi i refredat a 3 Kelvin dins d'un criostat. En aquest cristall, van assignar 250 espais d'emmagatzematge, o múltiples espaciotemporals, cadascun amb el potencial d'emmagatzemar un fotó, assolint l'actual record mundial per a un dispositiu d'estat sòlid amb recuperació a petició. Aquesta fita és realment notable, ja que la capacitat de recuperar qubits a petició és tècnicament molt difícil d'implementar i, tanmateix, és essencial a l'hora de sincronitzar xarxes quàntiques.

Posteriorment, l'equip va utilitzar una configuració similar (deu cel·les de memòria controlables individualment, però amb menys modes disponibles) per emmagatzemar diversos qubits i recuperar-los en el moment oportú, cosa que finalment va donar lloc a l'article a PRX. Per aconseguir-ho, defectors acústico-òptics van dirigir polsos de laser al cristall, permetent escriure i llegir qubits en combinacions arbitràries de cel·les. L'anàlisi posterior dels fotons recuperats va mostrar que el conjunt de memòries quàntiques en sèrie preservava els estats quàntics originals amb una fidelitat molt raonable.

Per acabar de demostrar el potencial de la seva configuració, l'equip va emmagatzemar dos qubits codificats en intervals temporals i els va recuperar simultàniament. **Aquestes capacitats ens acosten un pas més a una memòria RAM quàntica d'estat sòlid**, amb aplicacions en computació i comunicació quàntica. Preveiem que es podria combinar aquesta plataforma amb una font d'estats de cluster fòtons per a **una computació quàntica basada en llum**, comparteix el Dr. Markus Teller, primer coautor de l'estudi. En aquest escenari, el conjunt de memòries quàntiques en sèrie emmagatzemaria cada vegada més fotons fins que es formés un gran estat quàntic entrellacat. Aleshores podrien començar les operacions quàntiques.

El sistema també podria impulsar **repetidors quàntics**, l'eix vertebrador del futur internet quàntic. Aquests dispositius busquen estendre la comunicació quàntica a grans distàncies distribuint el recurs quàntic de l'entrellacament al llarg de segments successius. Els experiments anteriors amb sòlids s'havien d'aturar després d'intentar establir entrellacament només unes desenes de vegades, ja que calia esperar que retornés un senyal anunciant l'èxit, explica Susana Plascencia, investigadora de l'ICFO i coautora de l'estudi. **amb la nostra proposta, cal esperar el senyal d'èxit** (almenys, fins a una certa distància). En lloc d'això, podem utilitzar una altra cel·la de memòria i continuar intentant-ho. Omplir aquest temps mort amb nous intents podria augmentar la taxa a la qual l'entrellacament (i, per tant, la informació quàntica) es transfereix a llargues distàncies. Per tal d'aprofitar plenament el potencial de les formacions proposades de memòries quàntiques amb multiplexació temporal (com són tècnicament anomenades), cal millorar

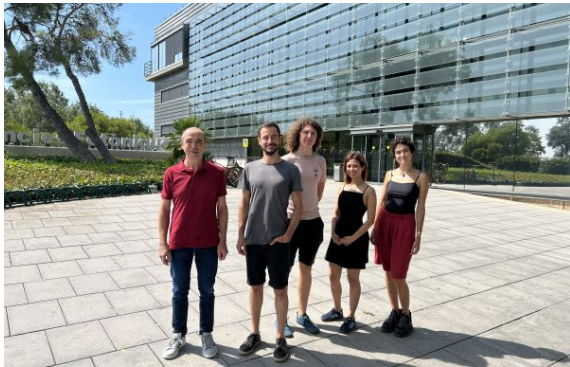
ne el rendiment (per exemple, en termes d'eficiència i temps d'emmagatzematge), augmentar el nombre de cel·les de memòria i aconseguir emmagatzemar entrellacament; reptes que els investigadors hauran d'enfrontar properament. En conjunt, aquest estudi representa un pas significatiu cap a l'equivalent quàntic d'una memòria RAM, un dispositiu amb moltes possibles aplicacions en comunicació i computació quàntica que encara romanen obertes.

### Acknowledgements

This project received funding from: Gordon and Betty Moore Foundation (GBMF7446 to H.d.R.); EU Horizon Europe Research and Innovation program (EuroQCI in Spain) (Project no.101091638); European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Program under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement number 956419 (NanoGlass); European Union research and innovation program within the Flagship on Quantum Technologies through Horizon Europe project QIA-Phase 1 under grant agreement no. 101102140; Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca; Centres de Recerca de Catalunya; FUNDACIÓ Privada MIR-PUIG; Fundació Cellex; Government of Spain, Ministerio de Ciencia e Innovación with funding from European Union NextGeneration funds (MCIN/AEI/10.13039/501100011033, PLEC2021-007669 QNetworks, PRTR-C17.I1- Plan Complementario de Comunicaciones Cuánticas); Agencia Estatal de Investigación (PID2019-106850RB-100, PID2023-147538OB-I00, Severo Ochoa CEX2019-000910-S). M.T. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2022 research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 101103143 (Two-dimensionally multiplexed on-demand quantum memories) (2DMultiMems). S.G. acknowledges funding from the La Caixa Foundation (ID 100010434; fellowship code LCF/BQ/PR23/11980044).

### Referencias:

- M. Teller, S. Plascencia, C. Sastre Jachimaska, S. Grandi, and H. de Riedmatten. et al. A solid-state temporally multiplexed quantum memory array at the single-photon level. *npj Quantum Inf* **11**, 92 (2025). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41534-025-01042-9>
- M. Teller, S. Plascencia, S. Grandi, and H. de Riedmatten. Quantum storage of qubits in an array of independently controllable solid-state quantum memories. *Phys. Rev. X* **15**, 031053 (2025). DOI: <https://doi.org/10.1103/z6lc-qw2d>



D'esquerra a dreta, Hugues de Riedmatten, Samuele Grandi, Markus Teller, Susana Plascencia i Cristina Sastre Jachimska davant l'edifici principal de l'ICFO. ©ICFO.