

# Las redes cuanticas de tres nodos son excepcionalmente resistentes a la perdida de fotones

En la mayor parte de las futuras tecnologias cuanticas, como la deteccion o computacion cuantica distribuidas, hay que conectar mas de dos estaciones entre si, formando una red. Por ello, es fundamental desarrollar metodos capaces de certificar la presencia de correlaciones cuanticas sin analogo clasico en condiciones experimentales realistas que vayan mas alla del escenario de dos partes.

En un articulo reciente publicado en Physical Review Letters, investigadores del ICFO demostraron que los estados fotonicos de alta dimension ofrecen una robustez excepcional frente a la perdida de fotones en la red triangular a la hora de certificar correlaciones puramente cuanticas. Ademas, cerraron teoricamente la llamada laguna de deteccion, abriendo el camino a futuros estudios tanto en ciencia fundamental como en tecnologias cuanticas emergentes.

November 13, 2025

Una de las caracteristicas mas sorprendentes de la teoria cuantica es el entrelazamiento. Este da lugar a correlaciones mas fuertes que aquellas alcanzables mediante recursos clasicos y, en este sentido, a una teoria fisica no local. Los tests de Bell se han utilizado durante decadas cuando solamente dos partes estan involucradas para revelar correlaciones cuanticas entre ellas. Sin embargo, estas pruebas dependen de las medidas que las partes elijan realizar, por lo que estas deben seleccionarse aleatoriamente. Por el contrario, en los tests de Bell que involucran mas de dos nodos conectados en una red, las elecciones de las medidas (y, por tanto, la nocion de aleatoriedad) no son necesarias. Esto es realmente conveniente, ya que la mayor parte de tecnologias cuanticas futuras requeriran la conexion de varias estaciones.
Al igual que en los inicios de los tests de Bell estandar, los experimentos actuales enfocados a demostrar la no localidad en redes presentan ciertas lagunas o loopholes, debilidades en el diseno experimental que pueden permitir una explicacion clasica de las correlaciones observadas. Una de ellas es la **laguna de deteccion**: en ocasiones, demasiados fotones entrelazados no llegan a los detectores o pasan sin ser detectados, lo que obliga a los cientificos a descartar esas rondas (o a aplicar un post-procesado similar). Sin embargo, si se descartan rondas sin el debido cuidado, se abre la posibilidad de que los datos restantes puedan explicarse mediante un modelo clasico.
El **Dr. Tamas Krivachy** y **Martin Kerschbaumer** del ICFO han demostrado ahora la **no localidad cuantica en una red triangular bajo condiciones realistas de ruido**, ofreciendo asi una forma de **cerrar la laguna de deteccion**. Utilizando estados fotonicos de alta dimension, este estudio publicado en Physical Review Letters muestra que las redes triangulares no son tan fragiles como se pensaba. De hecho, son excepcionalmente robustas frente a la perdida de fotones, incluso cuando se emplean fuentes imperfectas de pares entrelazados.
Una red triangular consiste en tres fuentes independientes que envian estados entrelazados a tres estaciones, formando un bucle cerrado. De este modo, cada estacion recibe dos i¿½mitadesi¿½ de dos estados entrelazados provenientes de diferentes fuentes. Todas las estaciones realizan entonces una medida local, registran los resultados y analizan si las correlaciones observadas son genuinamente cuanti
as.  Los investigadores del ICFO han demostrado que ciertos estados fotonicos entrelazado
 de alta dimension, conocidos como estados NOON, pueden tolerar perd
das sorprendentemente altas. i¿½Los estados NOON consisten en una superposicion cuant
ca de N fotones que van hacia un lado y 0 hacia el otro, y 0 fotones que van hacia un lado y N hacia el otroi¿½, explica el Dr. Tamas Krivachy, primer autor del articulo. i¿½Vimos que la no localidad persiste incluso cuando existe mas de un 50% de probabilidad de erdida de fotones, muy por encima del requisito experimental del 20%i¿½, anade. E
 importante destacar que esto se cumple incluso cuando el numero de fotones implicados

n el estado NOON es solo dos, algo que ya puede realizarse experimentalmente hoy en dia.  Segun Krivachy, i¿½el siguiente paso clave seria realizar un experimento de Bell libre de lagunas en la red triangulari¿½. Ademas de los conocimientos fundamentale que pruebas de no localidad en redes mas rigurosas y fiables podrian aportar, este avance briria un nuevo camino para el desarrollo de futuras tecnologias de comunicacion y compu acion cuantica, donde la distribucion robusta del entrelazamiento en redes r

**Referencia:**
Tamas Krivachy, Martin Kerschbaumer, Closing the Detection Loophole in the Triangle Network with High-Dimensional Photonic States, Phys. Rev. Lett. 135, 160803 (2025).
DOI: https://doi.org/10.1103/nwzw-tqzp

**Agradecimientos:**
We acknowledge financial support from the Government of Spain (Severo Ochoa CEX2019-000910-S and FUNQIP), Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig, Generalitat de Catalunya (CERCA program). T.K. additionally acknowledges funding from the Swiss National Science Foundation (project 214458) and from the Austrian Federal Ministry of Education via the Austrian Research Promotion Agency-FFG (flagship project FO999897481, funded by EU program NextGenerationEU). M.K. additionally acknowledges funding from the Erasmus+ Programme of the European Union through an Erasmus+ traineeship grant, as well as from the Gesellschaft für Forschungsforderung Niederosterreich m.b.H.