

Borrado cuántico y sus aplicaciones al procesamiento cuántico de la información

Fabiola **García Gutiérrez**
Francisco A. **Domínguez Serna**
Manuel **Ávila Aoki**

Un protocolo enigmático y apasionante de la física cuántica es el llamado borrador cuántico. Desde su revelación en 2002 (Walborn, 2002), este ha generado mucha discusión acerca de las posibilidades que ofrece al Procesamiento Cuántico de la Información (PCI) (Wang *et al.*, 2017).

¿Qué es y para qué sirve el borrado cuántico? La primera respuesta está explicada en el identificador de la Figura 1, donde se puede apreciar cómo se borra el origen del fenómeno físico. La segunda respuesta es que sirve, entre otras cosas, para el procesamiento cuántico de la información (PCI). En 2017, Wang y sus colaboradores (Wang *et al.*, 2017) propusieron un experimento para generar entrelazamiento cuántico multipartita, que es un ingrediente básico y un recurso necesario para el PCI (Lami *et al.*, 2023; Overbye, 2022).

Dentro de las diferentes propuestas que existen para generar estados entrelazados (*i.e.*, que están cuánticamente comunicados) destacan aquellas que abordan la generación de estados atómicos correlacionados. Para generar entrelazamiento atómico se requieren dos ingredientes: un colectivo de átomos y una manera de hacerlos interactuar de forma controlada.

Figura 1. Un fotón incide sobre una doble rendija. Como el fotón no interactúa con él mismo, entonces no se observa un patrón de difracción.

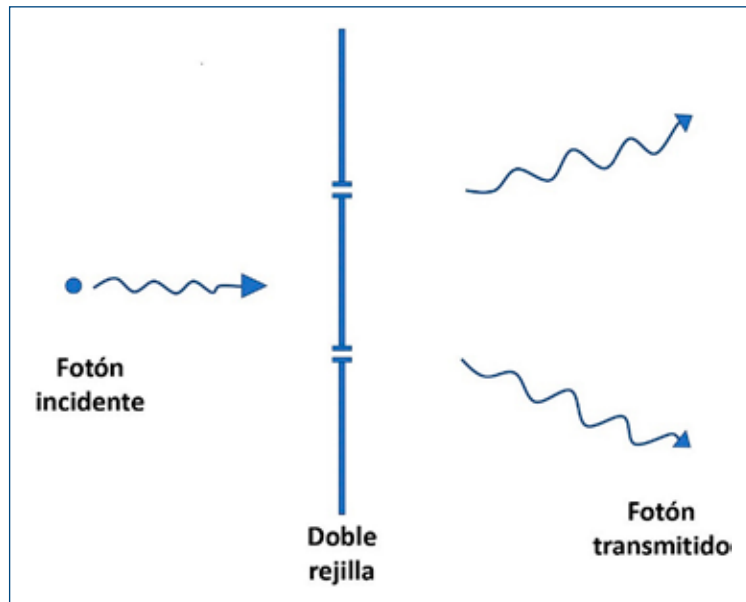
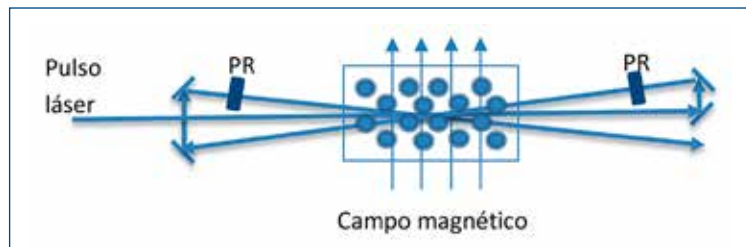


Figura 2. Esquema propuesto por Wang y sus colaboradores (Wang *et al.*, 2017) para generar entrelazamiento atómico multipartita mediante el triple paso de un pulso láser por un ensamble atómico. El triple paso de la luz permite borrar el entrelazamiento entre de los átomos con la materia. PR: placa retardadora.



Esto último se puede lograr mediante la interacción luz-materia, es decir, mediante el uso de luz láser.

La interacción luz-materia ocurre cuando radiación electromagnética, que puede ser en forma de luz, proveniente de un láser, interactúa con los átomos o moléculas de la materia. La materia puede absorber la luz y producir transición de los electrones a niveles de energía más altos. De la misma forma, es posible el fenómeno contrario, en donde la materia puede emitir luz cuando los electrones pasan a niveles de energía menores.

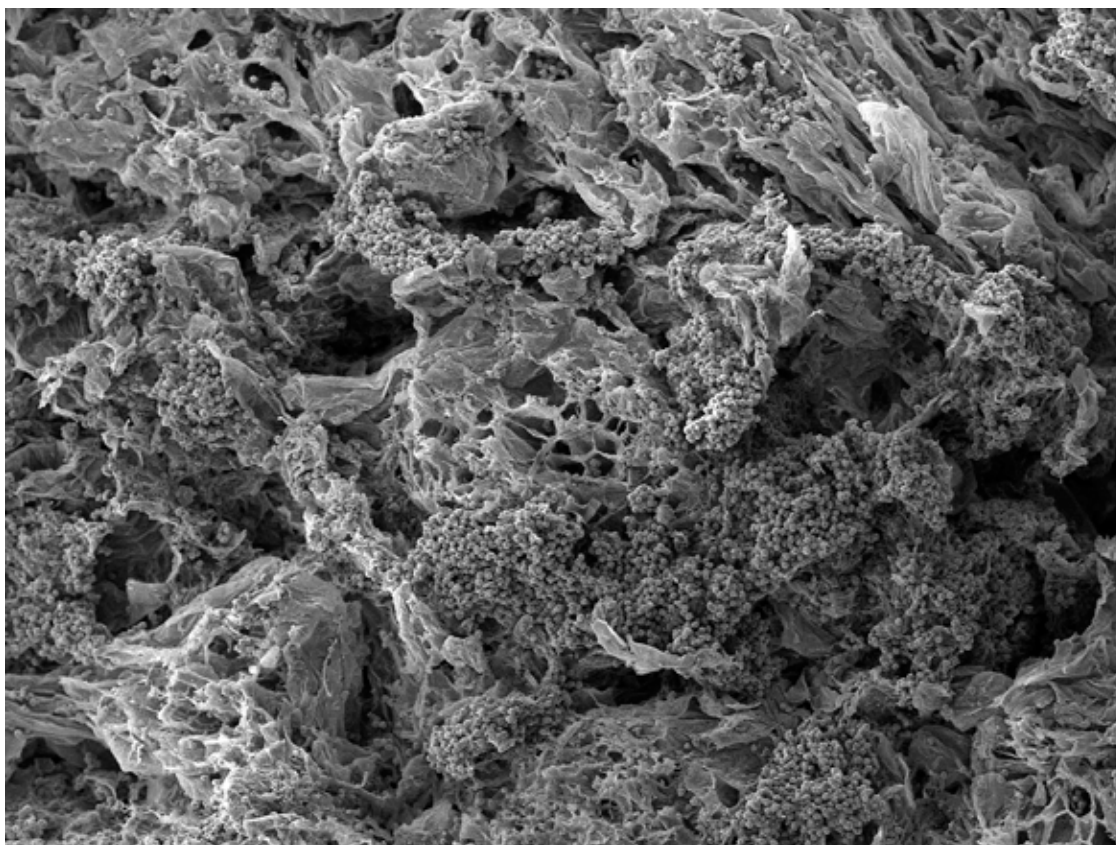
Además del intercambio de energía descrito por la interacción luz-materia, también es posible transferir momento angular a los átomos mediante luz, lo cual puede resultar en cambios en la orientación y dirección del espín atómico.

El espín atómico es una propiedad cuántica importante relacionada con el momento angular

intrínseco de las partículas que componen al átomo y se puede utilizar para codificar y procesar información cuántica.

En el experimento propuesto por Wang y sus colaboradores (Wang *et al.*, 2017) se genera entrelazamiento entre la luz y el espín de un conjunto de átomos (multipartita); posteriormente se utiliza el borrado cuántico para eliminar el entrelazamiento con los grados de libertad de la luz, dejando únicamente entrelazamiento entre los espines atómicos. Esto último es importante para lograr PCI de forma más eficiente. Ellos proponen esto mediante la interacción de la luz con el espín colectivo de un conjunto de átomos idénticos. Se puede explicar sencillamente con ayuda de la Figura 2, como se describe a continuación:

1. Se envía luz polarizada al arreglo de átomos en una dirección. El ensamble atómico está sujeto a un campo magnético constante que permite la interacción luz-materia. A la salida, la luz tiene información del momento angular de los átomos.



© Luz Noyola-Méndez. Microscopía electrónica de barrido del huitlacoche (*Mycosarcoma maydis*).

2. La luz es reflejada para interactuar nuevamente en la muestra, con lo cual puede transferir información al ensamble atómico. Esta interacción produce lo que se conoce como compresión de espín de un eje, es decir, que el espín del ensamble atómico se encuentra más definido en una dirección que lo que se encontraba inicialmente. Sin embargo, el espín de los átomos se encuentra entrelazado con la luz utilizada para la interacción, por lo que la utilidad del espín atómico para PCI se ve disminuida.

3. En una tercera fase, se refleja nuevamente la luz hacia el ensamble atómico. Si las características de polarización y fase de la luz reflejada son controladas adecuadamente, se consigue que la información compartida entre los átomos y la luz en cada paso por el ensamble interfiera destructivamente, borrando así el entrelazamiento existente entre la luz y la materia.

El procedimiento ideado por Wang y sus colaboradores (Wang *et al.*, 2017) permite generar un estado del ensamble atómico que se encuentra entrelazado entre grados de libertad de la materia, únicamente donde el protocolo de borrado cuántico

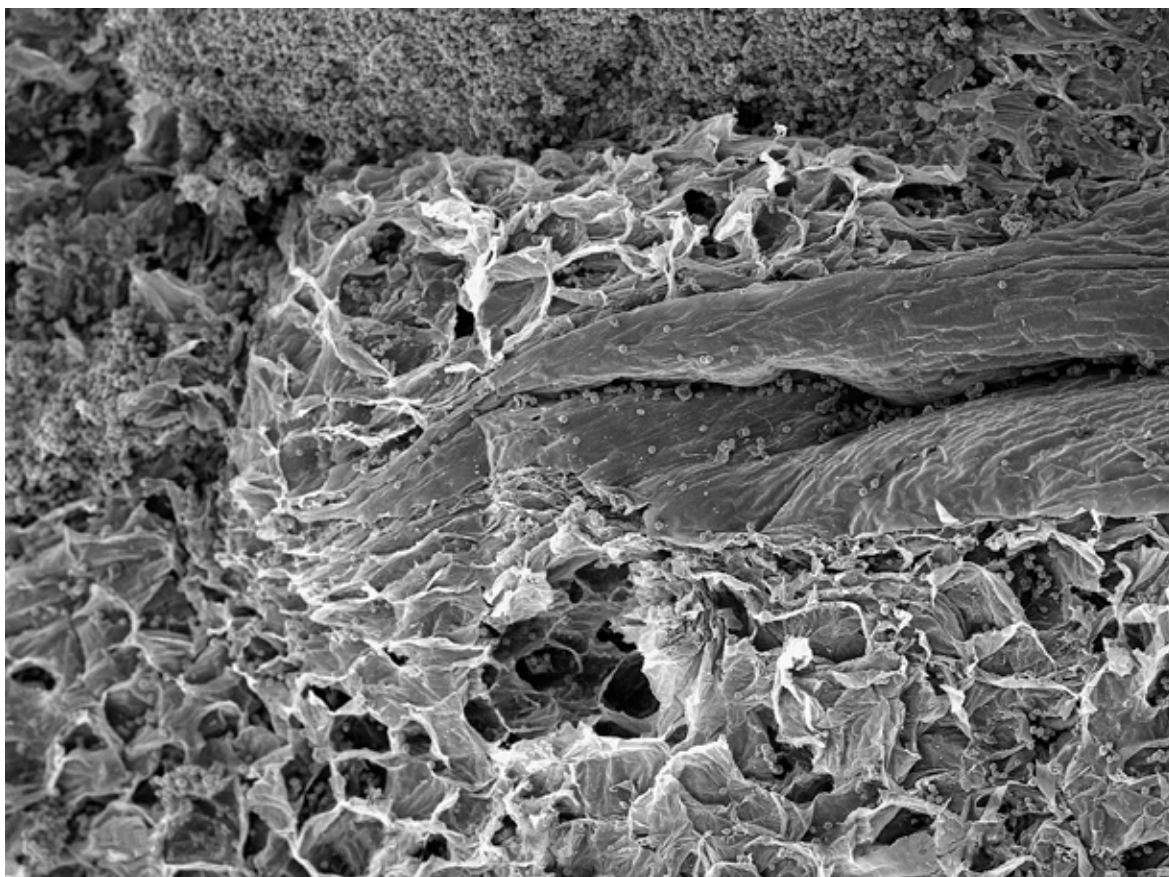
elimina la correlación luz-materia. Esto resulta útil en la implementación práctica de PCI en sistemas atómicos. El tema de este artículo es un tópico de frontera en óptica cuántica que continúa siendo investigado en los principales laboratorios del mundo.

AGRADECIMIENTOS

M. A. A. agradece a SNI CONAHCyT

R E F E R E N C I A S

- Kastner RE (2019) Delayed choice quantum eraser neither erases nor delays. *Found. Phys.* 49:717-722. <https://doi.org/10.1007/s10701-019-00278-8>.
- Lami L and Regula B (2023) No second law of entanglement manipulation after all. *Nature Physics* 19(2):184-189. <https://doi.org/10.1038/s41567-022-01873-9.S2CID242757348>.
- Overbye D (2022). Black Holes May Hide a Mind-Bending Secret About Our Universe-Take gravity, add quantum mechanics, stir. What do you get? Just maybe, a holographic cosmos. *The New York Times*. Recuperado el 14 Marzo 2023.



© Luz Noyola-Méndez. Microscopía electrónica de barrido del huitlacoche (*Mycosarcoma maydis*).

Pedrotti FL, Pedrotti LM and Pedrotti LS (2017). *Introduction to Optics*, Cambridge University Press.

Walborn SP *et al.* (2002). Double slit quantum eraser. *Phys. Rev. A* 65(3):033818-25. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.65.033818>. S2CID55122015.

Wang M, Qu W, Li P, Bao H, Vuletic V and Xiao Y (2017). Two-axis-twisting spin squeezing by multi-pass quantum erasure. *Phys. Rev. A* 96:013823. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.96.013823>.

Fabiola García Gutiérrez
Tecnológico Nacional de México
Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca
fabiola_ingenf@hotmail.com

Francisco A Domínguez Serna
CICESE
Ensenada, Baja California, México
fadomin@cicese.edu.mx

Manuel Ávila Aoki
Centro Universitario
Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM Valle de Chalco
manvilk@yahoo.com

© Luz Noyola-Méndez. Microscopía electrónica de barrido del huitlacoche (*Mycosarcoma maydis*).

