

Inversión de la flecha del tiempo por una computadora cuántica

A. Akari **Uc Guerra**
Manuel **Ávila Aoki**

La flecha del tiempo es un concepto que hace referencia a la aparente direccionalidad del tiempo (Deutsch, 1997). En el universo, el tiempo parece fluir inexorablemente del pasado al futuro.

En un proceso termodinámico de un estado de equilibrio inicial a un estado de equilibrio final, la entropía, que no es más que la medida del desorden en un sistema (Tipler, 1999), cambia de un valor inicial (S_i) a un valor final (S_f). Esto último ocurre en diferentes instantes del tiempo, de un tiempo inicial t_i a un instante de tiempo final t_f ($t_f > t_i$). Es decir, la entropía de un sistema cambia con el tiempo en un proceso termodinámico irreversible. (Tipler, 1999). En otras palabras, bajo ciertos parámetros, establece que la entropía siempre aumenta en un sistema aislado. Como resultado, el universo se vuelve más desordenado con el tiempo.

La flecha del tiempo ha sido una fuente de misterio durante siglos. ¿Por qué el tiempo parece fluir en una sola dirección? Existen múltiples teorías que buscan explicar este fenómeno, pero aún no hay alguna que resulte completamente satisfactoria.

En el artículo “Quantum coherence in many-body systems” (Coherencia cuántica en sistemas de muchos cuerpos), publicado en la revista *Reviews of Modern Physics* en 2017, Streltsov y colaboradores afirman que:



© **Gabriela Torres Ruiz**. De la serie *Mimesis* No. 27. Díptico, fotografía digital, 2019.

[...] la coherencia cuántica en sistemas de muchos cuerpos encarna la esencia del entrelazamiento y es un ingrediente esencial para una gran cantidad de fenómenos físicos en óptica cuántica, información cuántica, física del estado sólido y termodinámica a nanoescala.

Una de las teorías más prometedoras para explicar la flecha del tiempo es la teoría cuántica de la decoherencia (Nielsen y Chuang, 2000). La decoherencia es un proceso por el cual los sistemas cuánticos interactúan con su entorno y pierden la señal que los identifica (coherencia). Esta pérdida de coherencia conduce al surgimiento del comportamiento clásico, incluida la aparente direccionalidad del tiempo.

En los últimos años, a partir de los descubrimientos de Lesovik y colaboradores (2019) ha habido un incremento en el interés por la capacidad de las computadoras cuánticas por invertir la flecha del tiempo. Las computadoras cuánticas son máquinas que pueden manipular y procesar información a nivel cuántico. Esto quiere decir que no están sujetas a las mismas limitaciones que las computadoras clásicas y, por lo tanto, tienen la capacidad

de realizar cálculos que le llevarían miles de años realizar a una computadora clásica ordinaria tal como la conocemos.

En Austria, un grupo de investigadores de la Universidad de Innsbruck, publicó un artículo en 2019 en el que se demostraba que es posible invertir la flecha del tiempo en una computadora cuántica de IBM (Lesovik *et al.*, 2019). Los investigadores utilizaron la computadora cuántica para simular la trayectoria cinemática de un electrón que modifica dicha trayectoria debido a la colisión con otro cuerpo. Descubrieron que era posible invertir la trayectoria del electrón aplicando una operación de inversión en el tiempo que se podría ver matemáticamente como la inversión de $\mathbf{p}$ en las ecuaciones de movimiento.

Con base en los resultados obtenidos, se sugiere que las computadoras cuánticas también podrían usarse para invertir la flecha del tiempo en otros sistemas. Esto podría tener múltiples aplicaciones importantes, como permitir rebobinar la evolución de un sistema físico para observar cómo habría cambiado si las condiciones iniciales hubiesen sido distintas. Sin embargo, es importante resaltar que la capacidad de invertir la flecha del tiempo en una computadora cuántica no quiere decir que los viajes en el tiempo sean posibles. Las leyes de la física clásica nos impiden hacerlo. Lo que muestra ese



© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Díptico, fotografía digital, 2019.

experimento es que existe la posibilidad de invertir la dirección del tiempo en un sistema cuántico.

El estudio de la flecha del tiempo es un campo complejo y desafiante, pero también es una de las áreas de investigación más fascinantes de la física. La capacidad de invertir la flecha del tiempo en una computadora cuántica es un gran paso para la investigación, pues abre una nueva gama de posibilidades. Será interesante ver qué nuevos conocimientos arroja sobre la naturaleza del tiempo.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

El concepto de la flecha del tiempo está estrechamente relacionado con el concepto de entropía. En un sistema cerrado, la entropía siempre aumenta con el tiempo. Esto significa que el sistema se vuelve más desordenado con el tiempo.

La flecha del tiempo se puede explicar haciendo uso de la entropía mediante el siguiente argumento:

- El pasado está más ordenado que el presente.
- El presente está más desordenado que el futuro.
- Por lo tanto, la flecha del tiempo debe fluir desde el pasado hacia el futuro.

La razón por la que el pasado está más ordenado que el presente es porque el universo estaba en un estado más ordenado en el pasado. Esto se

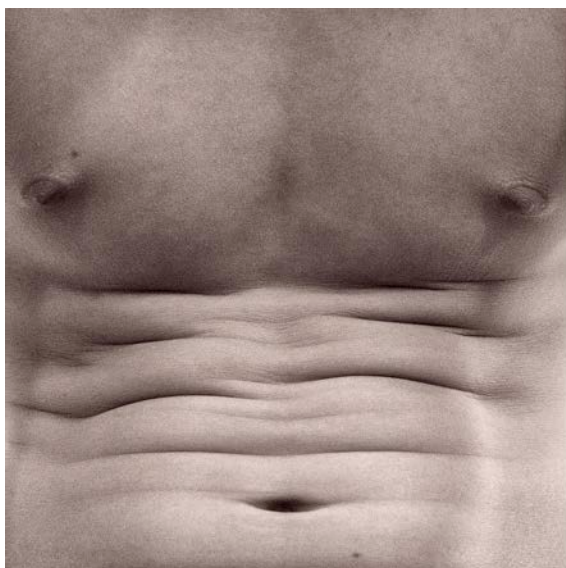
debe a que el universo comenzó en un estado muy ordenado y desde entonces ha ido evolucionando hacia un estado más desordenado. La razón por la que el presente está más desordenado que el futuro es porque el futuro aún no está aquí. El futuro todavía se está creando y, por lo tanto, está más desordenado que el presente, que ya está aquí.

EL EXPERIMENTO DE LA COMPUTADORA CUÁNTICA DE IBM

El experimento con la computadora cuántica de IBM que se llevó a cabo en 2019 utilizó una técnica llamada tomografía de estado cuántico que mide la trayectoria cinemática de un electrón disperso. La tomografía de estado cuántico es una técnica que nos permite reconstruir el estado cuántico de un sistema a partir de una serie de medidas.

Los investigadores descubrieron que era posible invertir la trayectoria del electrón aplicando una operación de inversión de tiempo al estado cuántico del sistema. Esta operación de inversión del tiempo se implementó utilizando una técnica llamada teletransportación cuántica.

La teletransportación cuántica es una técnica que nos permite transmitir el estado cuántico de una



© **Gabriela Torres Ruiz**. Sin título. Díptico, fotografía digital, 2019.

partícula de un lugar a otro (Bennett *et al.*, 1993). Los investigadores utilizaron la teletransportación cuántica para transmitir el estado cuántico del electrón en el tiempo, lo que invirtió la trayectoria del electrón.

CONCLUSIÓN

Los resultados del experimento de la computadora cuántica de IBM sugieren que es posible invertir la flecha del tiempo en un sistema cuántico. Se trata de un importante paso adelante y abre todo un nuevo abanico de posibilidades para la investigación.

Como ya se ha mencionado, las computadoras cuánticas podrían usarse para rebobinar la evolución de un sistema físico y observar cómo habría evolucionado de manera distinta en diferentes condiciones iniciales.

Esto podría usarse, por ejemplo, para estudiar el comportamiento de sistemas complejos, como los sistemas meteorológicos o los mercados financieros. Las computadoras cuánticas también podrían usarse para crear simulaciones del pasado. Esto tendría aplicación para estudiar eventos históricos o para crear nuevas formas de entretenimiento. Por supuesto, también existen algunas preocupaciones

éticas potenciales asociadas con la capacidad de invertir la flecha del tiempo. Por ejemplo, ¿podrían usarse las computadoras cuánticas para cambiar el pasado? Y si es así, ¿cuáles serían las implicaciones para el libre albedrío y el determinismo?

Todas estas son preguntas importantes que deberán abordarse a medida que continúe la investigación sobre la inversión de la flecha del tiempo. Sin embargo, los beneficios potenciales de esta investigación son grandes y es probable que tengan un impacto profundo en nuestra comprensión del universo.

DIRECCIONES FUTURAS

El experimento de la computadora cuántica de IBM es solo un primer paso hacia la inversión de la flecha del tiempo. Todavía hay muchos desafíos que deben superarse antes de que esta tecnología pueda usarse en aplicaciones prácticas. Por ejemplo, ¿será posible que protocolos cuánticos compilados en una computadora cuántica puedan ser invertidos en el tiempo? Dichos protocolos pueden ser la comunicación cuántica punto a punto entre dos partículas (entrelazamiento cuántico); o bien, la teleportación cuántica.

La computadora cuántica de IBM invirtió la trayectoria de un solo electrón, pero todavía no está



© Gabriela Torres Ruiz. De la serie *Mimesis* No. 21. Díptico, fotografía digital, 2020.

claro si esta técnica se puede utilizar para invertir la flecha del tiempo en sistemas más complejos.

Otro desafío tiene que ver con el hecho de que el experimento de la computadora cuántica de IBM estaba limitado por el tamaño de la computadora cuántica. El cúbit es la unidad mínima lógica de procesamiento cuántico de la información. La computadora cuántica utilizada en el experimento solo tenía cinco cúbits, lo cual no es suficiente para simular un sistema complejo.

A medida que las computadoras cuánticas se vuelvan más grandes y poderosas, será posible superar estos desafíos.

Así, con una visión futurista, podría ser posible utilizar computadoras cuánticas para invertir la flecha del tiempo en simulaciones de sistemas complejos como los sistemas meteorológicos o los mercados financieros. Indirectamente, esto podría significar viajar al pasado. Estas simulaciones podrían utilizarse para comprender mejor el comportamiento de los sistemas y desarrollar métodos para invertir su evolución.

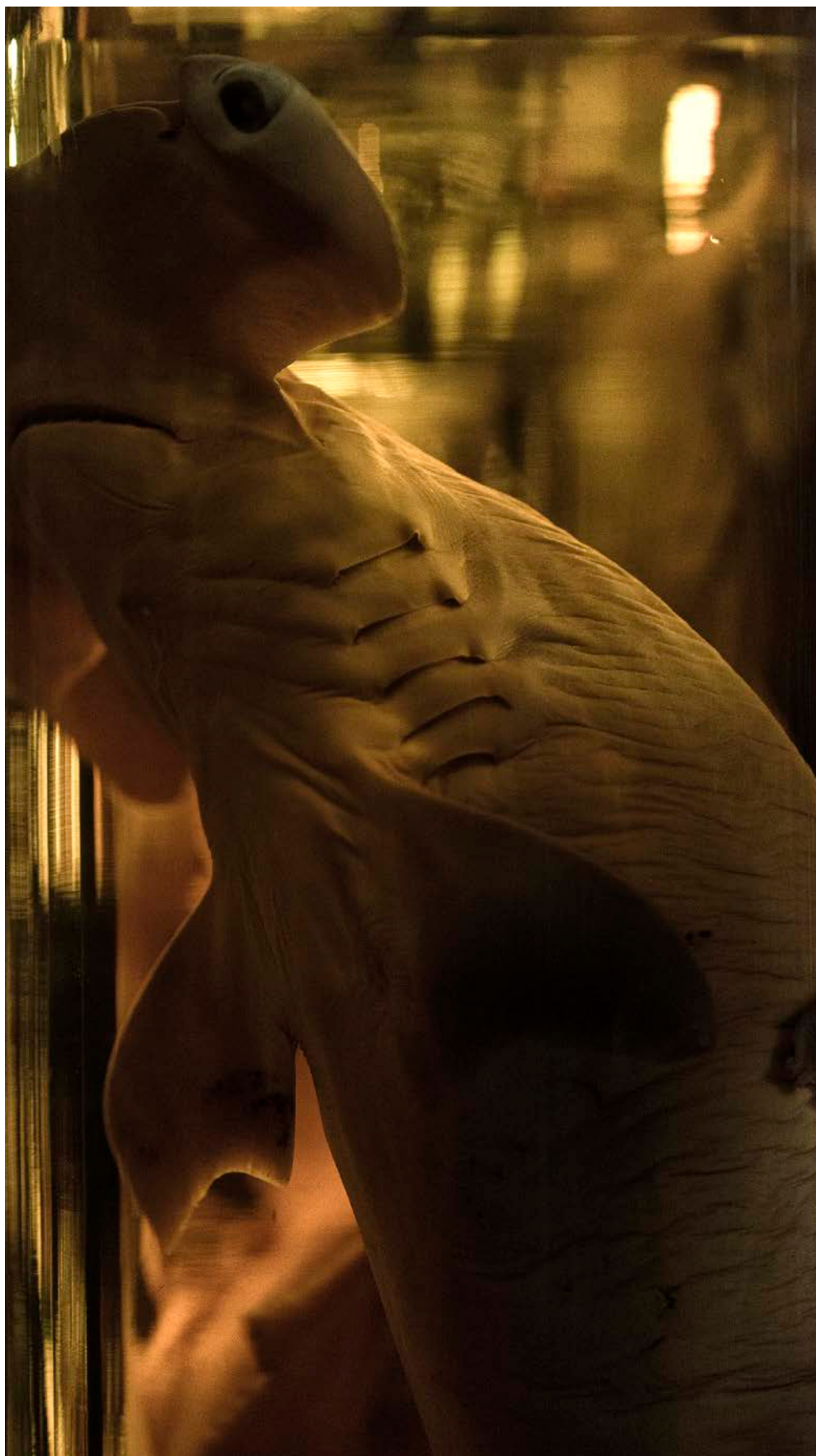
Aunque existen bases científicas que respaldan lo anterior, es mucho más difícil invertir la flecha del tiempo en este tipo de sistemas debido a que están conformados por un gran número de variables que interactúan entre sí de manera compleja. Esto hace

que sea muy difícil predecir su comportamiento futuro y, aún más difícil, invertir su evolución.

REFERENCIAS

- Bennett CH, Brassard G, Crépeau C, Jozsa R, Peres A and Wootters WK (1993). Quantum teleportation. *Physical Review Letters* 70:1895-1899.
- Deutsch D (1997). *The arrow of time*. Oxford University Press.
- Highfield R and Coveney P (1992). *The Arrow Of Time: A Voyage Through Science To Solve Time's Greatest Mystery*. Ballantine Books.
- Lesovik GB, Khramov AV and Shnirman A (2019). Reversal of the arrow of time by a quantum computer. *Nature Communications* 10:1-8.
- Peierls R (1979). *Surprises in Theoretical Physics*. Princeton University Press.
- Penrose R (1990). *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*. Oxford University Press.
- Nielsen MA and Chuang IL (2000). *Quantum computation and quantum information*. Cambridge University Press.
- Tipler FJ (1999). *The Second Law of Thermodynamics*. Princeton University Press.
- Wald RM (2011). *General Relativity*. University of Chicago Press.

A. Akari Uc Guerra
Manuel Ávila Aoki
Centro Universitario UAEM Valle de Chalco
Universidad Autónoma del Estado de México
melpphys@gmail.com



© Gabriela Torres Ruiz. Sin título. Fotografía digital, 2019.