



## **Presentan como los simuladores cuanticos pueden explorar fenomenos que de otro modo serian inaccesibles**

**Un Coloquio en Reviews of Modern Physics ofrece una introduccion al campo de la simulacion cuantica de geometrias exoticas sin un equivalente en el mundo real. La revision destaca las oportunidades unicas que ofrecen diversas plataformas y analiza los novedosos fenomenos fisicos que pueden abordarse con ellas.**

March 31, 2025

---

Muchos problemas importantes en la fisica, especialmente en areas como la fisica de bajas temperaturas y la fisica de muchos cuerpos, siguen siendo poco comprendidos debido a la enorme complejidad de la mecanica cuantica subyacente. Para abordar estos desafios, los cientificos recurren a la simulacion cuantica, una tecnica que permite manipular y observar el comportamiento de un sistema cuantico bien controlado en el laboratorio, con el fin de estudiar sistemas cuanticos que de otro modo serian inaccesibles.

La simulación cuántica nació con el objetivo de abordar sistemas de interés en el mundo real, como materiales electrónicos, superconductores y moléculas complejas. Sin embargo, los físicos pronto se dieron cuenta de que los simuladores cuánticos podían ir más allá de la mera imitación de sistemas existentes. Esto abrió una nueva línea de investigación: utilizar simuladores cuánticos para explorar sistemas sin equivalente en el mundo real. Conceptos que podrían parecer sacados de la ciencia ficción, como la materia cuántica sintética, espacios de dimensiones superiores que conducen a una "realidad cuántica aumentada" o agujeros negros analógicos, se convirtieron en objeto de estudio científico.

Recientemente, un equipo de investigadores liderado por Tobias Grass del Donostia International Physics Center en San Sebastián, con la participación del **Prof. ICREA del ICFO Maciej Lewenstein**, así como investigadores de ETH Zurich, Université de Lyon y TU Dortmund University, ha publicado un Coloquio en *Reviews of Modern Physics*, en el que presentan una visión integral de estos simuladores cuánticos exóticos. En él abarcan diversas plataformas, en particular aquellas basadas en átomos, electrones y fotones, destacando tanto sus fortalezas como sus limitaciones. El artículo también analiza cómo estas plataformas pueden permitir a los científicos investigar fenómenos en un amplio rango de campos, desde la física de la materia condensada hasta la cosmología.

Según los autores, una posibilidad emocionante es el uso de simuladores cuánticos para crear materia cuántica sintética con geometrías exóticas que conducen a fenómenos de localización. En este escenario, la función de onda de una partícula o grupo de partículas, que normalmente se extendería sobre un área espacial amplia, se localiza debido a la propia geometría, que induce al confinamiento. Esta materia cuántica sintética también puede albergar fases topológicas, estados exóticos de la materia definidos por patrones de entrelazamiento en lugar de la disposición y movilidad atómica, lo que la convierte en un sistema ideal para estudiar detalladamente mediante simuladores cuánticos. Estos simuladores también pueden usarse para explorar modelos cosmológicos que involucran espacios-tiempo curvos e incluso para simular la física de los agujeros negros, como el efecto Unruh y la radiación de Hawking. Estos fenómenos son increíblemente débiles y difíciles de observar con técnicas astronómicas, pero los simuladores cuánticos podrían hacerlos detectables en el laboratorio.

De cara al futuro, los investigadores señalan: "Dadas las dificultades para simular estos sistemas de manera clásica, los simuladores cuánticos pueden desarrollar todo su potencial, abriendo la puerta a cuestiones fundamentales de la física cuántica de muchos cuerpos. Nuestra revisión muestra que se han sentado las bases para futuras exploraciones del mundo interactuante de fractales, cuasicristales, espacios curvos y de dimensiones superiores".

**Referencia:**

Tobias Grass, Dario Bercioux, Utso Bhattacharya, Maciej Lewenstein, Hai Son Nguyen, and Christof Weitenberg, *Colloquium: Synthetic quantum matter in nonstandard geometries*, *Rev.*

Mod. Phys. 97, 011001 (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.97.011001>

**Caption:**

La figura muestra la concepción artística de una geometría fractal conocida como junta de Sierpinski. Esta geometría fractal surge a través de una construcción autosimilar de triángulos cada vez más pequeños. Como se analiza en el Coloquio, los simuladores cuánticos modernos pueden generar sintéticamente este tipo de estructuras y explorar la interacción entre la mecánica cuántica y geometrías exóticas, dando lugar a características novedosas como localización no estándar y propiedades topológicas. Creado con Microsoft AI image generator, por Tobias Grass.

**Agradecimientos:**

T. G. and D. B. acknowledge fruitful discussions with Geza Giedke. D. B. acknowledges the support of the Spanish MICINN-AEI through Project No. PID2020-120614GB-I00 (ENACT), the Transnational Common Laboratory Quantum ChemPhys, and the Department of Education of the Basque Government through Project No. PIBA\_2023\_1\_0007 (STRAINER). T. G. and D. B. acknowledge the financial support received from the IKUR Strategy under the collaboration agreement between the Ikerbasque Foundation and DIPC on behalf of the Department of Education of the Basque Government, and by the Gipuzkoa Provincial Council within Project No. QUAN-000021-01. T. G. acknowledges funding from the Department of Education of the Basque Government through Project No. PIBA\_2023\_1\_0021 (TENINT) and from the Agencia Estatal de Investigación (AEI) through Proyectos de Generación de Conocimiento No. PID2022-142308NA-I00 (EXQUSMI). This work has been produced with the support of a 2023 Leonardo Grant for Researchers in Physics from the BBVA Foundation. H. S. N. is funded by the French National Research Agency (ANR) under the project README (Project No. ANR-22-CE09-0036-01). The work of C.W. is funded by the Cluster of Excellence *iQ*: Advanced Imaging of Matter *iQ* of the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)-EXC 056 -Project No. 390715994 and the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement No. 80201. U. B. is also grateful for the financial support of the IBM Quantum Researcher Program. M. L. acknowledges ERC AdG NOQIA; MCIN/AEI [PGC2018-0910.13039/50110001133, CEX2019-000910-S/10.13039/501100011033, Plan National FIDEUA PID2019-106901GB-I00, and the Plan National STAMEENA PID2022-139099NB-I00 project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the *iQ* European Union NextGenerationEU/PRTR *iQ* (PRTR-C17.I1), FPI]; QuantERA MAQS (Grant No. PCI2019-111828-2); QuantERA DYNAMITE (Grant No. PCI2022-132919; QuantERA II Programme, cofunded by the European Union's Horizon 2020 program und

r Grant Agreement No. 101017733), the Ministry of Economic Affairs and Digital Transformation of the Spanish Government through the QUANTUM ENIA project call-Quantum Spain project, and the European Union through the Recovery, Transformation, and Resilience Plan-NextGenerationEU within the framework of the Digital Spain 2026 Agenda; Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (European Social Fund FEDER and CERCA program, AGAUR Grant No. 2021 SGR 01452, and QuantumCAT Grant No. U16 011424, cofunded by the ERDF Operational Program of Catalonia 2014-2020); Barcelona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-1-0013); EU Quantum Flagship (PASQanS2.1, 101113690); EU Horizon 2020 FET-OPEN OPTologic (Grant No. 899794); EU Horizon Europe Program (Grant Agreement No. 101080086-NeQST); the ICFO Internal  $\frac{1}{2}$ QuantumGaudii  $\frac{1}{2}$  project; the European Union's Horizon 2020 program under the Marie Skłodowska-Curie Grant Agreement No. 847648; and  $\frac{1}{2}$ La Caixa,  $\frac{1}{2}$  Junior Leaders fellowships,  $\frac{1}{2}$ La Caixa,  $\frac{1}{2}$  Foundation (ID No. 100010434): CF/BQ/PR23/11980043.