

# Divulga UAB

Revista de difusió de la recerca de la  
Universitat Autònoma de Barcelona

02/12/2025

## Nuevo método eficiente para simular teorías fundamentales de la física de partículas



Un trabajo teórico del grupo de Óptica, línea cuántica y atómica del Departamento de Física permite la simulación eficiente de las teorías gauge, responsables de las interacciones entre las partículas fundamentales, mediante ordenadores cuánticos.

istcok/StudioM1

La física de partículas, así como muchos fenómenos relevantes de la materia condensada, se describe mediante las llamadas teorías gauge, caracterizadas por la presencia de simetrías locales no abelianas. Algunas de estas teorías, como la cromodinámica cuántica —la teoría de las interacciones fuertes que explica la existencia y las propiedades de los hadrones, como los protones y los neutrones—, están fuertemente acopladas y deben estudiarse numéricamente mediante la *lattice gauge theory*, un enfoque en el que el espacio-tiempo se representa mediante una red de valores discretos y empleando, por ejemplo, el método Monte Carlo (una herramienta matemática ampliamente utilizada para resolver problemas complejos). Sin embargo, esta herramienta presenta ciertas limitaciones, como el llamado problema del signo y la autocorrelación.

Con el desarrollo de las tecnologías cuánticas, investigadores de todo el mundo están explorando el uso de ordenadores cuánticos y algoritmos de inspiración cuántica para

complementar el método Monte Carlo y poder esclarecer el mecanismo de confinamiento de los quarks —los constituyentes de los protones y neutrones— y de las colisiones entre hadrones, que producen el denominado plasma de quarks y gluones.

Aunque los primeros resultados en modelos con una dimensión espacial han sido prometedores, la presencia de simetrías locales no abelianas ha representado hasta ahora un obstáculo formidable incluso para plantear el estudio de modelos en dos y tres dimensiones espaciales, como la cromodinámica, mediante ordenadores y métodos cuánticos. Aunque ya existen aproximaciones que permiten superar estas dificultades en ciertos regímenes, para poder conectar las simulaciones realizadas en red con el mundo real —que es continuo—, es esencial disponer de métodos que funcionen en todo el espectro de valores de la constante de acoplamiento.

Nuestro trabajo presenta un método que permite superar este obstáculo y simular las teorías de la física de altas energías en todos los regímenes de acoplamiento. La propuesta se basa, por un lado, en la reformulación de la teoría gauge directamente en términos de los estados invariantes bajo la simetría local y, por otro, en una representación óptima de estos estados que minimiza los recursos computacionales necesarios para la simulación.

La propuesta se ha aplicado con éxito a una teoría gauge no abeliana conocida como teoría gauge SU(2). Los resultados numéricos muestran que, con un número muy reducido de recursos —como los disponibles en los ordenadores cuánticos actuales—, es posible obtener información física relevante con gran precisión.

Nuestro trabajo teórico, elaborado por los investigadores Pierpaolo Fontana y Marc Miranda Riaza bajo la supervisión de Alessio Celi, ha sido recientemente reconocido con su publicación en *Physical Review X*, una revista científica multidisciplinar con revisión por pares que recoge estudios de alto impacto, ya que habilita el estudio de los hadrones mediante ordenadores cuánticos.

### Alessio Celi

Departamento de Física

Universitat Autònoma de Barcelona

### Referencias

Pierpaolo Fontana, Marc Miranda-Riaza and Alessio Celi. **Efficient Finite-Resource Formulation of Non-Abelian Lattice Gauge Theories beyond One Dimension** *Phys. Rev. X* 15, 031065 – Published 9 September, 2025 DOI: <https://doi.org/10.1103/k9p6-c649>

[View low-bandwidth version](#)