



Bien común cuántico

Quantum common good



Roberto Betancourt A.

Observatorio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6667-4214>

V7683160@gmail.com

Caracas-Venezuela

La física clásica rige el mundo macroscópico, mientras que la física cuántica estudia el comportamiento de la materia y la energía a escalas microscópicas, basándose en principios como la superposición, el entrelazamiento y la cuantización. Estos conceptos han revolucionado nuestra visión del universo y han dado lugar a aplicaciones tecnológicas con un impacto tangible en diversos campos.

La ciencia y la tecnología cuánticas (CTC) son esenciales para el avance social con aplicaciones en ciberseguridad, energía sostenible, telecomunicaciones y salud pública. Su desarrollo redefine el progreso tecnológico, ya que destaca su capacidad para promover el bien común, alineando la ciencia con las necesidades sociales de manera equitativa y accesible.

En la actualidad, la comunidad científica mundial tiene la responsabilidad de aprovechar estos conocimientos para hacer frente a desafíos contemporáneos como la desigualdad, la crisis climática y el acceso a la salud. Por este motivo, la iniciativa de declarar 2025 como el «Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas», promovida por las Naciones Unidas, representa una oportunidad para reflexionar y actuar de manera coordinada, garantizando que los beneficios de la CTC se traduzcan en soluciones tangibles para todas las personas.

Es importante señalar que las aplicaciones de la CTC ya son evidentes en la vida cotidiana. Un ejemplo es el sistema de posicionamiento global (GPS), que utiliza principios cuánticos del tiempo y el espacio para revolucionar la navegación y que está disponible en nuestros teléfonos móviles y en sistemas avanzados de transporte aéreo.

Sin embargo, la principal meta de la CTC debe ser democratizar sus soluciones tecnológicas. En el sistema de sa-

lud, las simulaciones cuánticas pueden facilitar el acceso a tratamientos efectivos. En educación, los algoritmos cuánticos optimizarían los recursos y personalizarían el aprendizaje. En el ámbito económico, las tecnologías cuánticas pueden ayudar a crear sistemas energéticos más equitativos que reduzcan las desigualdades y garanticen un acceso justo a la energía.

Recordando que «Lo más bello que podemos experimentar es lo misterioso, pues es la fuente de todo el verdadero arte y la ciencia» (Albert Einstein), es necesario canalizar este misterio hacia el «bien común cuántico», como la clave para construir una sociedad más equitativa, donde el conocimiento esté al servicio del bienestar universal y deje de ser un privilegio.

La comunidad científica debe comprometerse a construir un futuro inclusivo, accesible y orientado a través de la CTC para resolver los retos de todos, especialmente de los que más lo necesitan. De este modo, esta victoria del intelecto humano no solo supondrá un logro intelectual, sino también una fuerza transformadora al servicio de la humanidad.

Los descubrimientos fundamentales de la ciencia cuántica, como la superposición cuántica, la no-localidad y el entrelazamiento cuántico, han desafiado las leyes tradicionales de la física, revelando una naturaleza más compleja y profundamente interconectada del universo subatómico. Estos fenómenos no solo son profundamente contraintuitivos, sino que también han abierto posibilidades inéditas para el desarrollo de nuevas tecnologías. La superposición cuántica, por ejemplo, permite a las partículas estar en múltiples estados simultáneamente, lo que posibilita el diseño de computadoras cuánticas que pueden realizar operacio-

nes en paralelo y resolver problemas que las computadoras tradicionales no pueden abordar (Nielsen y Chuang, 2010). El entrelazamiento cuántico, por su parte, ha llevado a avances en áreas como la criptografía cuántica, donde la seguridad de la información se garantiza mediante principios fundamentales de la mecánica cuántica, lo que re- presenta una revolución en la seguridad digital (Gisin *et al.*, 2002). A través de este artículo, se busca profundizar en el impacto de la ciencia y la tecnología cuánticas en nuestra sociedad global, explorando sus implicaciones no solo desde una perspectiva técnica, sino también considerando sus efectos en el desarrollo social y económico.

La ciencia y la tecnología cuánticas en boga

La ciencia y la tecnología cuánticas abarcan un amplio espectro de disciplinas y aplicaciones basadas en los principios de la mecánica cuántica, como la superposición, el entrelazamiento y la dualidad onda-partícula. A continuación, se presenta una lista organizada de estas disciplinas.

Ciencia Cuántica	
a. Mecánica cuántica	Fundamentos teóricos y experimentales que sustentan las tecnologías cuánticas.
b. Teoría de campos cuánticos	Superposición, entrelazamiento, y principio de incertidumbre.
c. Óptica cuántica	Base para explicar partículas elementales y sus interacciones.
d. Física de la materia condensada cuántica:	Comportamiento cuántico de los fotones y su interacción con la materia.
e. Información cuántica	Propiedades cuánticas en sólidos, como superconductividad y superfluidez.
f. Termodinámica cuántica	Estudios sobre el almacenamiento, transmisión y procesamiento de información en sistemas cuánticos.
g. Computación cuántica teórica	Interacción entre la mecánica cuántica y los principios de la termodinámica.



Modelos matemáticos y algoritmos específicos como Shor y Grover.

Tecnología cuántica	
a. Computación cuántica	Aplicaciones prácticas derivadas de los principios cuánticos.
b. Modelos de computación cuántica: Basados en puertas (IBM Q, Rigetti)	Sistemas para resolver problemas computacionales complejos mediante <i>qubits</i> (bits cuánticos).
c. <i>Hardware</i> cuántico Trampas de iones	Análogos (D-Wave, para problemas de optimización).
d. Qubits fotónicos Qubits topológicos	Circuitos superconductores.
e. Lenguajes de programación Qiskit,- Cirq.Algoritmos Factorización (Shor), búsqueda (Grover), optimización variacional	<i>Software</i> cuántico.
f. Comunicación cuántica	Tecnologías para transmitir información con seguridad absoluta mediante fenómenos cuánticos.
g. Cifrado cuántico	Distribución de claves cuánticas (QKD, por sus siglas en inglés).
h. Teletransportación cuántica	Transferencia de estados cuánticos sin transmisión física del medio.
i. Redes cuánticas	Protocolo para redes de comunicación de largo alcance.
j. Sensores y metrología cuántica	Medición con precisión sin precedentes basada en principios cuánticos.
k. Relojes atómicos	Usados en GPS y sincronización precisa.
l. Magnetómetros cuánticos	Detección de campos magnéticos extremadamente débiles.
m. Interferometría cuántica	Aplicada en geofísica, medicina y astronomía (detectores de ondas gravitacionales).
n. Acelerómetros cuánticos	Navegación autónoma sin GPS.
o. Materiales y simulación cuántica	Modelado y desarrollo de nuevos materiales y compuestos moleculares.



Tecnologías emergentes

a. Simuladores cuánticos	Resolución de problemas químicos complejos, como reacciones catalíticas.
b. Materiales cuánticos	Superconductores de alta temperatura Grafeno y sistemas bidimensionales. Estados exóticos como el líquido de espín cuántico.
c. Criptografía cuántica	Reemplazo de sistemas clásicos de seguridad por tecnologías inmunes a ataques computacionales.
d. Protocolos cuánticos	BB84 (Distribución de claves). E91 (Entrelazamiento para cifrado).
e. Poscriptografía cuántica	Seguridad de sistemas clásicos ante posibles computadoras cuánticas.
f. Energía cuántica	Aplicaciones cuánticas en el almacenamiento y generación de energía.
g. Baterías cuánticas	Almacenamiento de energía más eficiente mediante estados cuánticos.
h. Fotovoltaica cuántica	Aprovechamiento de procesos cuánticos para mejorar la eficiencia en paneles solares.
i. Biología y medicina cuántica	Aplicaciones en salud y estudios biológicos.
j. Imágenes cuánticas	Técnicas de alta resolución para diagnóstico médico.
k. Sensores biomédicos cuánticos	Detección temprana de enfermedades mediante análisis precisos.
l. Simulación de biomoléculas	Estudio de proteínas y procesos metabólicos mediante simuladores cuánticos.
m. Inteligencia artificial cuántica	Aplicaciones en el entrenamiento y operación de modelos de IA.
n. <i>Machine learning</i> cuántico	Algoritmos para optimizar procesos de aprendizaje.
o. Optimización cuántica	Uso de computadoras cuánticas para resolver problemas de logística, finanzas y diseño.





Tecnologías emergentes

p. Internet cuántico	Redes globales ultra seguras basadas en entrelazamiento cuántico.
q. Microelectrónica cuántica	Circuitos integrados con propiedades cuánticas para computadoras híbridas.
r. Procesadores híbridos	Computadoras que combinan capacidades clásicas y cuánticas.
s. Metamateriales cuánticos	Materiales diseñados para interactuar con luz y ondas de formas inéditas.

20 aspectos fascinantes de la ciencia y la tecnología cuánticas

Con motivo del «Año de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas», podemos destacar 20 datos, curiosidades y logros clave que muestran la profundidad y relevancia de este campo en expansión:

1. Orígenes y Consolidación

Nacimiento de la mecánica cuántica (1900):

Max Planck introdujo la idea de los cuantos al proponer que la energía se emite en paquetes discretos, lo que marcó el inicio de la teoría cuántica.

Teoría de la incertidumbre de Heisenberg (1927):

Werner Heisenberg formuló el principio de incertidumbre, que muestra que es imposible medir con precisión simultáneamente ciertas propiedades de las partículas (posición y momento).

Entrelazamiento cuántico (1935):

Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen (EPR) plantean el fenómeno del entrelazamiento, que Einstein denominó «acción fantasmal a distancia».

Primera computadora cuántica (1998):

Se construye el primer sistema funcional de computación cuántica, que usa la resonancia magnética nuclear con dos *qubits* (Al igual que el bit binario es la unidad básica de información en la informática clásica [o tradicional], el qubit [o bit cuántico] es la unidad básica de información en la informática cuántica).

Consolidación del término «tecnología cuántica» (2016):

La Unión Europea lanza el programa «*Quantum Flagship*», en el que invierte 1.000 millones de euros para desarrollar tecnologías cuánticas durante 10 años.

2. Estadísticas y cifras impactantes

Aceleración en la inversión global (2023):

Las inversiones públicas y privadas en tecnologías cuánticas alcanzan los 35.500 millones de dólares, según el Boston Consulting Group.



Crecimiento del mercado cuántico:

Se espera que el mercado global de computación cuántica alcance los 125. millardos de dólares en 2030, con un crecimiento anual compuesto del 40 %.

Estados líderes en inversión:

China encabeza las inversiones gubernamentales con más de 15 millardos de dólares, seguida de la Unión Europea (7.200 millones) y Estados Unidos (1.200 millones).

Aceleración de publicaciones científicas:

Desde 2000, el número de artículos académicos sobre temas cuánticos ha crecido un 400 %, mostrando un interés exponencial.

3. Metas más emblemáticas

Internet cuántico global (2050):

Meta ambiciosa para conectar dispositivos cuánticos a través de redes seguras basadas en entrelazamiento.

Computadoras cuánticas a gran escala (2030):

Objetivo de desarrollar máquinas con más de 1.000 *qubits* plenamente funcionales y con corrección de errores cuánticos.

Simulación cuántica de moléculas complejas (2030):

Se espera que las computadoras cuánticas logren simular procesos moleculares para revolucionar la química y el diseño de medicamentos.

Sensores cuánticos para clima y geofísica (2025):

Dispositivos que mejoren la precisión en la predicción de cambios climáticos y detección de recursos subterráneos.

Relojes cuánticos ultraprecisos (2027):

Redefinición del tiempo con relojes que solo pierden un segundo cada 30.000 millones de años.

4. Logros alcanzados

Detección de ondas gravitacionales (2015):

La interferometría cuántica permitió al *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* (LIGO) confirmar la existencia de ondas gravitacionales, un logro galardonado con el Premio Nobel en 2017.

Primer enlace cuántico satelital (2017):

China lanza el satélite cuántico Micius, demostrando teletransportación cuántica y distribución de claves cuánticas a escala global.

Supercomputadoras cuánticas prácticas:

En 2019, un procesador cuántico de Google, llamado Sycamore, ha tardado en torno a 200 segundos en arrojar un resultado que, según se estima, habría llevado a las mejores supercomputadoras digitales, armadas con los mejores algoritmos, unos 10.000 años.

Primera red cuántica interurbana (2021):

China desarrolla una red cuántica de 4.600 kilómetros (desde Xinlong hasta Shanghai) que, con más de 700 fibras ópticas, conecta varias ciudades con comunicación ultra segura.

Producción de baterías cuánticas:

En 2022, investigadores desarrollaron prototipos de baterías cuánticas que prometen cargar 10 veces más rápido que las convencionales.

Sensores cuánticos biomédicos:

En 2023, se aplicaron sensores cuánticos para detectar enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson con precisión temprana nunca antes alcanzada.

5. Conclusión: un futuro prometedor

La ciencia y la tecnología cuánticas avanzan rápidamente y están logrando avances que impactan en campos como la tecnología de la información, la seguridad, la medicina y el clima. Su capacidad para transformar nuestra com-



presión del mundo físico y ofrecer soluciones a problemas globales la posiciona como uno de los pilares fundamentales de la innovación en el siglo XXI.

Algunos trabajos de investigación y desarrollo en Venezuela

(De acuerdo con el Recitven)

1. Cambio paradigmático: una visión cuántica desde la docencia universitaria en tiempos de pandemia por COVID-19.

2. Dinámica de correlaciones cuánticas bajo decoherencia en la computadora cuántica de Kane.

3. Es posible desarrollar computación cuántica en Venezuela.

4. Hacia una interpretación filosófico-hermenéutica de la educación desde la perspectiva cuántico-matemática.

5. Implementación de algoritmos de cifrado poscuántico en entornos controlados para la protección de los sistemas de información de la Unefa-San Tome.

6. Material educativo computarizado para el apoyo del aprendizaje de física cuántica y ondas.

7. Modelo matemático unificado de la relatividad general y la mecánica cuántica.

8. Momento electromagnético, efectos cuánticos y la masa del fotón.

9. Sistema de generación de energía eléctrica por fusión nuclear y vacío cuántico-biofísica cuántica aplicada a células madre y biogerontología.

10. Teoría cuántica y sus aplicaciones.

11. Un procedimiento para la obtención de los espectros ir, raman y rmn de compuestos orgánicos mediante cálculos mecánico-cuánticos con el *software orca-5.0.3*.