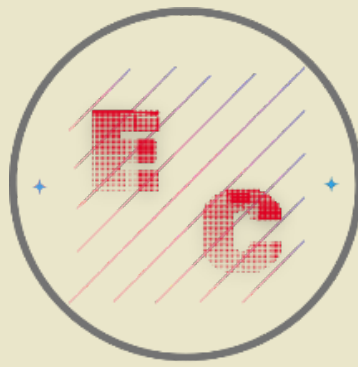




REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Volumen 3, Número 1
Enero-Marzo 2026

Edición Trimestral

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, www.omniscens.com

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 1
enero-marzo 2026

Publicación trimestral
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

Contacto principal: admin@omniscens.com

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.



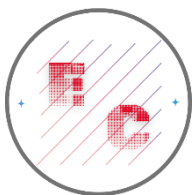
Copyright © 2026: Los autores



9773061781003

Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 3, Núm. 1, enero-marzo 2026, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: <https://www.omniscens.com>, admin@omniscens.com, Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 enero 2026.



Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 1, 2026, enero-marzo

DOI: <https://doi.org/10.71112/05g0gd73>

**COMPUTACIÓN CUÁNTICA: ESTADO DEL ARTE, PRODUCTORES LÍDERES,
LOGROS, DESAFÍOS TÉCNICOS Y PERSPECTIVA DE MERCADO**

**QUANTUM COMPUTING: STATE OF THE ART, LEADING PRODUCERS,
ACHIEVEMENTS, TECHNICAL CHALLENGES, AND MARKET OUTLOOK**

Baldo Alberto Luigi Dalporto

Santiago Gallur

Sabine Mary

República Dominicana

Computación cuántica: estado del arte, productores líderes, logros, desafíos técnicos y perspectiva de mercado

Quantum computing: state of the art, leading producers, achievements, technical challenges, and market outlook

Baldo Alberto Luigi Dalporto

baldo.dalporto@intec.edu.do

<https://orcid.org/0009-0008-8719-1562>

Universidad INTEC,

República Dominicana

Sabine Mary

sabine.mary@intec.edu.do

<https://orcid.org/0009-0004-3488-9511>

Universidad INTEC,

República Dominicana

Santiago Gallur

santiago.gallur@intec.edu.do

<https://orcid.org/0000-0001-6287-7340>

Universidad INTEC,

República Dominicana

RESUMEN

La computación cuántica explota los principios de superposición, entrelazamiento e interferencia para implementar transformaciones unitarias sobre espacios de Hilbert de dimensión exponencial. Estas propiedades permiten acelerar clases específicas de problemas, particularmente en simulación cuántica, optimización estructurada y ciertos algoritmos criptográficos.

El presente artículo desarrolla una revisión técnico-científica del estado actual de la computación cuántica, analizando fundamentos formales, métricas de desempeño, arquitecturas de hardware dominantes, logros experimentales y desafíos asociados a la

implementación de computación cuántica tolerante a fallos. Asimismo, se examina el ecosistema industrial y las proyecciones de mercado diferenciando tamaño del sector y valor económico habilitado por las tecnologías cuánticas.

El análisis muestra avances sostenidos en fidelidad de compuertas y escalabilidad de qubits físicos durante la última década. Sin embargo, la implementación de qubits lógicos robustos mediante corrección de errores cuánticos continúa siendo el principal obstáculo técnico para la obtención de ventaja cuántica utilizable en aplicaciones industriales.

Palabras clave: computación cuántica; qubits; era NISQ; corrección de errores cuánticos; quantum volumen; algoritmos variacionales; ventaja cuántica.

ABSTRACT

Quantum computing exploits superposition, entanglement, and interference to implement unitary transformations over exponentially large Hilbert spaces. These properties enable potential acceleration of specific classes of problems, particularly quantum simulation, structured optimization, and selected cryptographic algorithms.

This paper presents a technical review of the current state of quantum computing, including formal foundations, performance metrics, dominant hardware architectures, experimental achievements, and technical challenges associated with fault-tolerant quantum computing. The industrial ecosystem and market outlook are also examined, distinguishing between sector size and broader economic value enabled by quantum technologies.

The analysis indicates sustained progress in gate fidelities and physical qubit scaling over the past decade. However, the implementation of robust logical qubits through quantum error correction remains the principal technical barrier to achieving practical quantum advantage.

Keywords: quantum computing; qubits; NISQ era; quantum error correction; quantum volume; quantum advantage.

Recibido: 19 febrero 2026 | Aceptado: 4 marzo 2026 | Publicado: 5 marzo 2026

INTRODUCCIÓN

La computación cuántica constituye una extensión del formalismo de la mecánica cuántica aplicada al procesamiento de información. A diferencia de la computación clásica, donde la información se representa mediante bits discretos, en la computación cuántica la unidad fundamental de información es el qubit, que puede describirse como un vector normalizado en un espacio de Hilbert bidimensional (Nielsen & Chuang, 2010).

Desde las propuestas iniciales de computación cuántica universal y los criterios físicos establecidos por DiVincenzo (2000), el campo ha evolucionado desde modelos conceptuales hacia implementaciones experimentales capaces de controlar decenas y centenas de qubits físicos. Este desarrollo ha sido impulsado tanto por avances en física experimental como por la consolidación de programas industriales dedicados a tecnologías cuánticas.

En la actualidad, la mayoría de los dispositivos operan en el régimen denominado NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum), caracterizado por procesadores con número intermedio de qubits y tasas de error suficientemente altas como para impedir la implementación completa de corrección de errores cuánticos (Preskill, 2018). Estos sistemas permiten realizar demostraciones experimentales y algoritmos híbridos cuántico-clásicos, pero aún no constituyen computadoras cuánticas universales tolerantes a fallos.

Durante la última década se han alcanzado hitos experimentales relevantes, incluyendo demostraciones controladas de muestreo de circuitos cuánticos aleatorios que han servido como referencia histórica para la llamada ventaja cuántica experimental (Arute et al., 2019). Sin embargo, la traducción de estos resultados hacia aplicaciones industriales reproducibles sigue siendo objeto de investigación activa.

El objetivo del presente trabajo es presentar una revisión técnica del estado del arte en computación cuántica que integre fundamentos físicos, plataformas tecnológicas, métricas de desempeño, desafíos estructurales y perspectivas de desarrollo industrial.

La contribución específica de este artículo consiste en: establecer un marco comparativo de métricas interoperables entre plataformas cuánticas (fidelidad, coherencia, conectividad y volumen cuántico); sintetizar los principales cuellos de botella físicos y de ingeniería hacia la implementación de qubits lógicos tolerantes a fallos; diferenciar conceptualmente la ventaja cuántica experimental de la ventaja cuántica utilizable en aplicaciones tecnológicas.

METODOLOGÍA

Tipo de estudio

El presente trabajo corresponde a una revisión técnico-científica de tipo descriptivo-analítico orientada al estado del arte (*state of the art*) en computación cuántica.

El enfoque adoptado es físico-ingenieril, integrando resultados experimentales, modelos teóricos y documentación técnica institucional relevante para la evaluación del progreso tecnológico.

Fuentes de información

Se consultaron tres tipos principales de fuentes:

- Artículos científicos revisados por pares en revistas internacionales de física e ingeniería.
- Literatura académica de referencia en computación cuántica.
- Reportes técnicos institucionales e industriales utilizados exclusivamente para el análisis del ecosistema tecnológico y de mercado.

Criterios de selección

Se incluyeron trabajos que cumplieran al menos uno de los siguientes criterios: mediciones experimentales de fidelidad o coherencia, análisis cuantitativos de corrección de errores cuánticos, evaluaciones comparativas de plataformas, definiciones formales del modelo de computación cuántica.

Se excluyeron: textos divulgativos sin soporte técnico, documentos sin metodología explícita, estimaciones de mercado sin fuente verificable.

Estrategia de análisis

La evidencia recopilada se organizó en cinco ejes principales:

- Fundamentos formales del modelo cuántico de cómputo.
- Arquitecturas físicas de qubits.
- Algoritmos y limitaciones del régimen NISQ.
- Corrección de errores cuánticos y tolerancia a fallos.
- Ecosistema industrial y perspectivas tecnológicas.

Estado actual de la computación cuántica

Arquitecturas físicas de qubits

El desarrollo experimental de la computación cuántica ha dado lugar a múltiples plataformas físicas para la implementación de qubits. En la actualidad no existe una arquitectura dominante, y diferentes tecnologías presentan compromisos distintos entre escalabilidad, fidelidad y complejidad experimental.

Qubits superconductores

Los qubits superconductores constituyen actualmente la plataforma más extendida en sistemas programables de acceso general. Estos dispositivos se basan en circuitos superconductores que contienen uniones Josephson, las cuales introducen no linealidad

suficiente para definir niveles de energía discretos que pueden manipularse como sistemas de dos niveles efectivos.

Los qubits tipo transmon presentan tiempos de coherencia típicos en el rango de decenas a cientos de microsegundos, mientras que las operaciones de puerta se realizan en escalas temporales del orden de decenas de nanosegundos. Este régimen permite ejecutar secuencias de operaciones relativamente profundas antes de que la decoherencia degrade el estado cuántico.

Procesadores superconductores han sido desarrollados por empresas como IBM, Google y Rigetti, integrando decenas o cientos de qubits en arquitecturas bidimensionales acopladas mediante resonadores superconductores.

Trampas de Iones

Los qubits basados en iones atrapados utilizan átomos cargados confinados mediante campos electromagnéticos en trampas de radiofrecuencia. Los estados electrónicos internos de los iones se emplean como niveles cuánticos computacionales, mientras que los modos vibracionales colectivos permiten implementar compuertas entre qubits.

Las trampas de iones presentan fidelidades de puerta superiores a las obtenidas en sistemas superconductores y tiempos de coherencia que pueden alcanzar segundos o incluso minutos en condiciones experimentales controladas. Sin embargo, las operaciones de puerta suelen ser más lentas y la escalabilidad hacia grandes números de qubits constituye un desafío experimental significativo.

Empresas como IonQ y Quantinuum han desarrollado procesadores comerciales basados en esta tecnología.

Átomos neutros y tweezers ópticos

Los sistemas de átomos neutros atrapados mediante pinzas ópticas constituyen una plataforma emergente con gran potencial de escalabilidad. En estos sistemas, los qubits se

implementan utilizando estados electrónicos excitados (estados de Rydberg) que permiten interacciones controladas entre átomos vecinos.

Estas arquitecturas permiten generar arreglos bidimensionales y tridimensionales con cientos de átomos controlados ópticamente, aunque la estabilidad a largo plazo y la fidelidad de compuertas continúan en desarrollo.

Computación por recocido cuántico

Los sistemas de recocido cuántico implementan algoritmos de optimización mediante la evolución adiabática de un sistema cuántico hacia el estado fundamental de un Hamiltoniano objetivo.

Aunque esta arquitectura no implementa computación cuántica universal, ha permitido estudiar experimentalmente problemas de optimización combinatoria a gran escala. Los sistemas desarrollados por D-Wave constituyen la implementación más avanzada de este enfoque.

Métricas de desempeño

La comparación entre plataformas cuánticas requiere métricas cuantitativas que integren múltiples parámetros experimentales.

Entre las métricas más utilizadas se encuentran:

- Fidelidad de compuertas de uno y dos qubits.
- Tiempos de coherencia T_1 y T_2 .
- Conectividad entre qubits.
- Profundidad efectiva de circuito.

El Quantum Volume fue propuesto como métrica integrada que combina número de qubits, fidelidad y conectividad en un único indicador experimental (Cross et al., 2019).

Evaluaciones posteriores han señalado que esta métrica debe interpretarse con cautela debido a su dependencia del protocolo de benchmarking (Baldwin et al., 2022).

RESULTADOS

Logros experimentales

Durante la última década se han producido avances significativos en el control experimental de sistemas cuánticos programables.

Uno de los hitos más conocidos fue la demostración de muestreo de circuitos cuánticos aleatorios mediante un procesador superconductor programable, en la cual se reportó un tiempo de ejecución considerablemente inferior al requerido por simulaciones clásicas equivalentes (Arute et al., 2019).

Otros avances relevantes incluyen:

- Reducción sistemática de tasas de error de compuertas.
- Mejora de estabilidad de calibración.
- Desarrollo de compiladores cuánticos optimizados.
- Implementación experimental inicial de códigos de corrección de errores.
- A pesar de estos avances, los sistemas actuales continúan operando en el régimen NISQ, caracterizado por limitaciones significativas debidas al ruido.

Aplicaciones potenciales

Simulación cuántica

La simulación de sistemas cuánticos constituye una de las aplicaciones más prometedoras de la computación cuántica. Los sistemas moleculares y materiales complejos requieren recursos computacionales exponenciales en métodos clásicos, mientras que pueden representarse de forma natural mediante qubits.

Los algoritmos variacionales permiten estimar energías de estado fundamental mediante expresiones del tipo $E(\theta) = \langle \psi(\theta) | H | \psi(\theta) \rangle$ donde $|\psi(\theta)\rangle$ representa un estado parametrizado optimizado mediante algoritmos clásicos.

Optimización

Numerosos problemas de optimización pueden representarse mediante Hamiltonianos tipo Ising.

$$H = \sum_i h_i \sigma_i^z + \sum_{i < j} J_{ij} \sigma_i^z \sigma_j^z$$

La minimización energética corresponde a la solución óptima del problema combinatorio asociado.

Estos modelos se investigan activamente en logística, finanzas y planificación industrial.

Criptografía

El algoritmo de factorización cuántica propuesto por Shor implica que sistemas criptográficos basados en factorización o logaritmos discretos podrían volverse vulnerables frente a computadoras cuánticas suficientemente grandes.

Este escenario ha impulsado el desarrollo de criptografía post-cuántica y protocolos de distribución cuántica de claves.

Desafíos técnicos

Escalabilidad

La construcción de sistemas cuánticos de gran escala requiere integrar miles o millones de qubits físicos manteniendo coherencia suficiente para realizar cálculos profundos.

Este requisito plantea desafíos simultáneos en: control electrónico, diseño criogénico, estabilidad electromagnética, de dispositivos.

Decoherencia

La interacción con el entorno provoca pérdida de coherencia cuántica y limita la duración de los cálculos cuánticos.

Las operaciones de puerta deben realizarse en tiempos mucho menores que los tiempos de decoherencia para preservar la información cuántica.

Corrección de errores cuánticos

La computación cuántica tolerante a fallos requiere codificar qubits lógicos en conjuntos redundantes de qubits físicos.

Los códigos de superficie constituyen actualmente la arquitectura más estudiada para corrección de errores, aunque requieren un número elevado de qubits físicos por qubit lógico.

Este overhead constituye uno de los principales obstáculos para la implementación de sistemas cuánticos universales.

Ecosistema industrial y perspectivas

El desarrollo de tecnologías cuánticas ha dado lugar a un ecosistema industrial en expansión que incluye fabricantes de hardware, proveedores de servicios en la nube y desarrolladores de software cuántico.

Entre los principales actores se encuentran IBM, Google Quantum AI, IonQ, Quantinuum, Rigetti y D-Wave.

Las proyecciones de mercado presentan variaciones significativas dependiendo de la definición adoptada. Algunas estimaciones consideran únicamente ingresos directos de hardware y servicios, mientras que otras incluyen el valor económico potencial habilitado por las tecnologías cuánticas.

Estas diferencias metodológicas deben tenerse en cuenta al interpretar las proyecciones económicas.

DISCUSIÓN

El análisis realizado indica que la computación cuántica se encuentra en una fase intermedia entre investigación fundamental y desarrollo tecnológico aplicado.

Los avances experimentales han permitido construir procesadores programables con fidelidades crecientes, pero la implementación de computación cuántica tolerante a fallos continúa siendo un objetivo a largo plazo.

La obtención de ventaja cuántica utilizable requiere simultáneamente: reducción de tasas de error, aumento de tiempos de coherencia, mejora de arquitecturas de corrección de errores, identificación de aplicaciones robustas frente al ruido.

Asimismo, la heterogeneidad de métricas entre plataformas dificulta comparaciones directas de desempeño.

CONCLUSIONES

La computación cuántica constituye una de las áreas de investigación más activas en física aplicada y ciencias de la computación.

Durante la última década se han logrado avances significativos en control experimental de qubits y en desarrollo de plataformas programables. Sin embargo, la implementación de sistemas tolerantes a fallos continúa siendo el principal desafío técnico.

El progreso futuro dependerá de la convergencia entre avances en física experimental, ingeniería de sistemas y desarrollo algorítmico.

La ventaja cuántica utilizable debe definirse como la capacidad reproducible de resolver tareas relevantes mediante recursos cuánticos con rendimiento superior al alcanzable por métodos clásicos equivalentes bajo condiciones comparables.

Declaración de Conflicto de Interés

Los autores, Baldo Alberto Luigi Dalporto, Santiago Gallur y Sabine Mary, declaran que la presente investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial, financiera o personal que pudiera interpretarse como un posible conflicto de interés. El contenido de este artículo es producto de una revisión académica independiente y los autores no tienen vínculos

económicos con las empresas de hardware cuántico (como IBM, Google, IonQ, entre otras) mencionadas en el análisis del ecosistema industrial.

Declaración de Contribución a la Autoría

Para asegurar la transparencia en el desarrollo del artículo "*Computación Cuántica: Estado del Arte, Productores Líderes, Logros, Desafíos Técnicos y Perspectiva de Mercado*", las contribuciones se distribuyen de la siguiente manera:

Baldo Alberto Luigi Dalporto: Conceptualización, investigación técnica sobre arquitecturas físicas (qubits superconductores y trampas de iones), análisis de métricas de desempeño y redacción del borrador original.

Santiago Gallur: Metodología, supervisión, análisis del ecosistema industrial y perspectivas de mercado, validación de datos económicos y revisión editorial del manuscrito.

Sabine Mary: Investigación sobre algoritmos cuánticos (NISQ, algoritmos variacionales), análisis de desafíos técnicos (corrección de errores y decoherencia), curación de la bibliografía y traducción técnica (Abstract).

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

En la preparación de este artículo, los autores utilizaron herramientas de Inteligencia Artificial Generativa únicamente con el propósito de optimizar la redacción gramatical, realizar la traducción técnica de fragmentos del resumen y agilizar la búsqueda de referencias bibliográficas secundarias.

Los autores declaran que:

- La estructura lógica, el análisis crítico de las plataformas cuánticas y las conclusiones finales son responsabilidad exclusiva del equipo humano.
- Se realizó una verificación manual exhaustiva de todas las citas y datos técnicos proporcionados por la IA para evitar alucinaciones o imprecisiones.

- La IA no sustituyó en ningún momento el juicio crítico ni la interpretación de los resultados científicos presentados.

REFERENCIAS

- Arute, F., et al. (2019). Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature*, 574, 505–510. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>
- Ballance, C. J., Harty, T. P., Linke, N. M., Sepiol, M. A., & Lucas, D. M. (2016). High-fidelity quantum logic gates using trapped-ion hyperfine qubits. *Physical Review Letters*, 117(6), 060504. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.117.060504>
- Cross, A. W., Bishop, L. S., Sheldon, S., Nation, P. D., & Gambetta, J. M. (2019). Validating quantum computers using randomized model circuits. *Physical Review A*, 100(3), 032328. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.100.032328>
- DiVincenzo, D. P. (2000). The physical implementation of quantum computation. *Fortschritte der Physik*, 48(9–11), 771–783. [https://doi.org/10.1002/1521-3978\(200009\)48:9/11%3C771::AID-PROP771%3E3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1521-3978(200009)48:9/11%3C771::AID-PROP771%3E3.0.CO;2-E)
- Flamini, F., Spagnolo, N., & Sciarrino, F. (2019). Photonic quantum information processing: A review. *Reports on Progress in Physics*, 82(1), 016001. <https://doi.org/10.1088/1361-6633/ab0428>
- Fowler, A. G., Mariantoni, M., Martinis, J. M., & Cleland, A. N. (2012). Surface codes: Towards practical large-scale quantum computation. *Physical Review A*, 86(3), 032324. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.86.032324>
- Grover, L. K. (1996). A fast quantum mechanical algorithm for database search. *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC)*, 212–219. <https://doi.org/10.1145/237814.237866>

- Kjaergaard, M., Schwartz, M. E., Braumüller, J., Krantz, P., Wang, J. I.-J., Gustavsson, S., & Oliver, W. D. (2020). Superconducting qubits: Current state of play. *Annual Review of Condensed Matter Physics*, 11, 369–395. <https://doi.org/10.1146/annurev-conmatphys-031119-050605>
- Peruzzo, A., McClean, J., Shadbolt, P., Yung, M.-H., Zhou, X.-Q., Love, P. J., Aspuru-Guzik, A., & O'Brien, J. L. (2014). A variational eigenvalue solver on a photonic quantum processor. *Nature Communications*, 5, 4213. <https://doi.org/10.1038/ncomms5213>
- Preskill, J. (2018). Quantum computing in the NISQ era and beyond. *Quantum*, 2, 79. <https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79>
- Saffman, M. (2016). Quantum computing with neutral atoms. *National Science Review*, 3(4), 425–441. <https://doi.org/10.1093/nsr/nww088>
- Shor, P. W. (1997). Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. *SIAM Journal on Computing*, 26(5), 1484–1509. <https://doi.org/10.1137/S0097539795293172>
- Terhal, B. M. (2015). Quantum error correction for quantum memories. *Reviews of Modern Physics*, 87(2), 307–346. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.87.307>
- Zhong, H.-S., et al. (2020). Quantum computational advantage using photons. *Science*, 370(6523), 1460–1463. <https://doi.org/10.1126/science.abe8770>
- Gambetta, J. M., Chow, J. M., & Steffen, M. (2017). Building logical qubits in a superconducting quantum computing system. *npj Quantum Information*, 3, 2. <https://doi.org/10.1038/s41534-016-0004-0>