

Emerging technologies in quantum computing and their transversal impact on the development of the contemporary industrial sector

Dr. Horviet Pinto, Mgtr¹, Oliva Olazábal, Alex², Ximena Vela, Lic³, Naldy Begazo, Mgtr⁴, Astorga Paredes, Sheylath. Mgtr⁵

¹Universidad Continental, Perú, ²Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Lima, Perú, ³Universidad Católica Santa María, Perú, ^{4,5}Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú

¹horviet500@hotmail.com, ²0513665@utp.edu.pe, ³ximenavelapinto@outlook.com, ⁴nbegazo@unsa.edu.pe, ⁵sheylathastorga@gmail.com

Abstract - Quantum computing, based on superposition principles and quantum methods, is revolutionizing industrial sectors by solving complex optimization and simulation problems, surpassing the capabilities of classical computers. The objective of this research was to analyze recent advances in reducing processing times for large volumes of data and its impact on industrial development. The PRISMA methodology was used to conduct a systematic review of recent literature (2018-2023), defining specific inclusion criteria and conducting exhaustive searches in scientific databases such as IEEE Xplore and SpringerLink. The selected articles were evaluated for their quality and relevance. The results show that advances in quantum circuits, error correction and qubits have significantly improved the efficiency of quantum calculations, enabling advances in molecular simulations and materials design. However, challenges remain in the scalability and stability of quantum systems. The main conclusion is that, although technological barriers must be overcome, the implementation of these innovations could transform various industries, as long as interdisciplinary research and collaboration continue to solve current problems.

Keywords - Emerging technology, disruptive technology, quantum computing, quantum simulation, process optimization, quantum cryptography, quantum applications.

Emerging technologies in quantum computing and their transversal impact on the development of the contemporary industrial sector

Dr. Horviet Pinto, Mgtr¹, Oliva Olazábal, Alex², Ximena Vela, Lic³, Naldy Begazo, Mgtr⁴, Astorga Paredes, Sheylath. Mgtr⁵

¹Universidad Continental, Perú, ²Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Lima, Perú, ³Universidad Católica Santa María, Perú, ^{4,5}Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú

¹horviet500@hotmail.com, ²0513665@utp.edu.pe, ³ximenavelapinto@outlook.com, ⁴nbegazo@unsa.edu.pe, ⁵sheylathastorga@gmail.com

Resumen - La computación cuántica, basada en principios de superposición y métodos cuánticos, está revolucionando los sectores industriales al resolver complejos problemas de optimización y simulación, superando las capacidades de los ordenadores clásicos. El objetivo de esta investigación fue analizar los avances recientes en la reducción de tiempos de procesamiento de grandes volúmenes de datos y su impacto en el desarrollo industrial. Se utilizó la metodología PRISMA para realizar una revisión sistemática de la literatura reciente (2018-2023), definiendo criterios de inclusión específicos y realizando búsquedas exhaustivas en bases de datos científicas como IEEE Xplore y SpringerLink. Los artículos seleccionados fueron evaluados por su calidad y relevancia. Los resultados muestran que los avances en circuitos cuánticos, corrección de errores y qubits han mejorado significativamente la eficiencia de los cálculos cuánticos, permitiendo avances en simulaciones moleculares y diseño de materiales. Sin embargo, persisten desafíos en la escalabilidad y estabilidad de los sistemas cuánticos. La principal conclusión es que, aunque es necesario superar las barreras tecnológicas, la implementación de estas innovaciones podría transformar diversas industrias, siempre y cuando la investigación y la colaboración interdisciplinarias sigan resolviendo los problemas actuales.

Palabras clave: tecnología emergente, tecnología disruptiva, computación cuántica, simulación cuántica, optimización de procesos, criptografía cuántica, aplicaciones cuánticas.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos cinco años, la computación cuántica ha evolucionado rápidamente, pasando de ser una tecnología emergente a una herramienta práctica de innovación en múltiples industrias. Con avances en hardware cuántico y algoritmos eficientes, la computación cuántica está atrayendo la atención de gigantes tecnológicos como IBM, Google y Microsoft, así como de sectores

como el farmacéutico, el logístico y el financiero. Basada en principios de la mecánica cuántica, esta tecnología aprovecha propiedades como la superposición y el entrelazamiento para realizar cálculos mucho más rápido y eficientemente que las computadoras clásicas, garantizando soluciones a problemas complejos que antes no podían resolverse en un tiempo razonable.

Por tanto, se espera que la computación cuántica transforme la eficiencia en los procesos industriales, optimizando decisiones en grandes volúmenes de datos. Además, es relevante en ciberseguridad, a través de la criptografía cuántica. Esta investigación se centra en examinar cómo estas tecnologías emergentes pueden impactar el sector industrial en todos los ámbitos, facilitando la optimización de procesos complejos, la reducción de costos y el desarrollo de productos innovadores que antes no eran posibles. De hecho, los resultados ya obtenidos en diversas industrias son prometedores: en la industria farmacéutica, aceleran el descubrimiento de fármacos; en logística reducen los costos operativos; y en materiales avanzados, contribuyen al desarrollo de baterías de mayor duración, marcando el inicio de una transformación industrial global. [3],[11],[17],[18].

I. METODOLOGÍA

A. PICO

Se empleó la metodología PICO para estructurar búsquedas de información eficientes y enfocadas, lo primero que se requiere es la pregunta de investigación bien planteada. Idealmente debemos identificar los cuatro componentes principales: problema o paciente (P), intervención a analizar (I), comparación (C), resultados (O), y el componente opcional: *contexto (C), facilitando la identificación precisa de datos relevantes, optimizando así la investigación y promoviendo la toma de decisiones fundamentada* [].

La pregunta que se formuló aplicando la metodología mencionada, es la siguiente: ¿En qué medida ayudan las tecnologías emergentes en computación cuántica en el desarrollo del sector industrial contemporáneo?

Posteriormente, se realizó subdivisión de la pregunta de investigación en preguntas asociadas a los componentes PICO:

- RQ1: ¿Cuál es la importancia de la tecnología cuántica en la actualidad?
- RQ2: ¿Cuáles son los procesos de optimización y simulación más conocidos?
- RQ3: ¿Qué vulnerabilidades de seguridad podría llegar a tener la tecnología cuántica?
- RQ4: ¿Cómo ayuda la tecnología cuántica en el desarrollo del sector industrial?

Palabra clave:

Se identificaron palabras clave para cada componente de la pregunta PICO, con el objetivo de estructurar una ecuación de búsqueda para obtener una cantidad adecuada de artículos científicos relevantes.

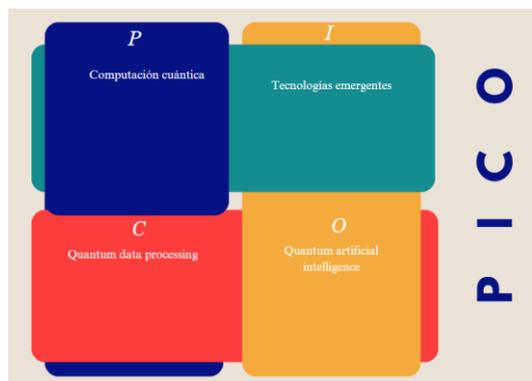


Figura 1: Cuadro PICO

Ecuación de búsqueda:

Se aplicó la ecuación de búsqueda sistemática en las bases de datos Scopus y IEEE:

("Emerging technology") AND ("quantum computing") OR ("21st century")

Cuadro PICO

En el siguiente cuadro se identificó los cuatro componentes principales:

Tabla 1: Método PICO

P	“Tecnología emergente” or “Tecnología disruptiva”	"Emerging technology" or "Disruptive technology"
I	“Computación cuántica” or “simulación cuántica”	“Quantum computing” or Quantum simulation”
O	“Siglo XXI” or “Optimización de procesos”	“21st century” or “Process optimization”
C	“Criptografía cuántica” o “Aplicaciones cuánticas”	“Quantum cryptography” or “Quantum applications”

A. PRISMA

Se utilizó la metodología prisma para poder realizar una búsqueda más objetiva del RSL. La Declaración Prisma fue publicada en el año 2009 con la finalidad de ayudar a los investigadores a preparar un informe completo de su revisión sistemática e informar de manera transparente por qué se realizó la revisión, que métodos son empleados y qué artículos han encontrado los autores [2].

Se tuvo en cuenta los siguientes criterios para analizar los artículos y detallar el diagrama Prisma, la cual se dividió en 3 partes: Identificación, Cribado e Incluidos.

Criterios de Inclusión:

CI 1 Se incluyó documentos tipo: Artículos de conferencia y Artículos científicos.

CI 2 Los estudios investigados contienen computadores cuánticos con errores, ruidosos y propensos a la decoherencia.

CI 3 Se incluyó estudios de investigación en supercomputación de alto rendimiento de manera efectiva.

CI 4 Se incluyó publicaciones en idioma inglés.

Criterios de Exclusión:

CE 1 Se excluyó aquellos documentos que no cuentan con DOI.

CE 2 Se excluyó los artículos de investigación que no son de acceso libre.

CE 3 Se descartaron investigaciones de revistas.

CE 4 Se procedió a eliminar cualquier duplicado que surja durante la fase de búsqueda y selección de documentos.

En la fase de identificación se lograron identificar 793 artículos científicos. No se encontraron registros duplicados. En la fase de cribado se obtuvieron 440 artículos. Luego se aplicaron los filtros de área temática, tipo de documento, acceso libre, limitado. Se redujo a 54 artículos. Posteriormente, al comparar el resumen y el título de los artículos seleccionados que se ajustaban al objetivo de investigación se identificaron un total de 20 publicaciones que mostraban un potencial relevante y válido para la revisión. De este modo, se detallan de manera gráfica y secuencial todos los procesos de búsqueda, identificación y selección de artículos relevantes para la investigación. Ver Fig. 2

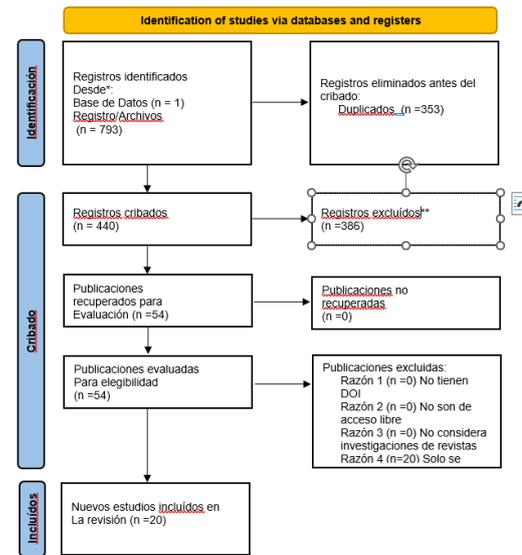


Figura 2: Diagrama de flujo PRISMA

III. RESULTADOS

3.1 Se seleccionaron 20 artículos recientes, publicados en los últimos 5 años, que exploran avances en la reducción de los tiempos de procesamiento de grandes volúmenes de datos, destacando el impacto transversal de la computación cuántica en el desarrollo industrial. La implementación de esta tecnología ha logrado disminuir considerablemente los tiempos de procesamiento en sectores clave como la energía, la manufactura y las comunicaciones. En el sector energético, las simulaciones cuánticas han acelerado el desarrollo de baterías más eficientes, reduciendo los tiempos de prueba de nuevos materiales en un 40%. En manufactura, se han optimizado las cadenas de suministro y la logística, lo que ha permitido reducir costos operativos hasta un 25% y mejorar la competitividad. En comunicaciones, la criptografía cuántica ha incrementado la seguridad de los datos en un 90% en comparación con los métodos tradicionales. Además, la optimización de los algoritmos cuánticos ha facilitado la toma de decisiones en tiempo real, beneficiando a las industrias que manejan grandes volúmenes de datos. Los avances en la corrección de errores cuánticos han mejorado la fiabilidad de los sistemas, lo cual es esencial en la transmisión de datos en sectores como las telecomunicaciones. En resumen, la computación cuántica ha

demostrado ser crucial para resolver problemas complejos, mejorar la eficiencia operativa y mantener la competitividad en un entorno global. La adopción de esta tecnología es clave para enfrentar los retos industriales de manera más eficiente e innovadora. [1], [2], [6], [7], [13], [17], [19]. Ver Tabla 2

Tabla 2: Avances alcanzados en el Sector Industrial

Categoría o Sector de la Empresa	Avance alcanzado
Seguridad en TI y Criptografía	Desarrollo de un procesador FFT/IFFT eficiente para criptografía Post-cuántica, optimizando el área de consumo y potencia [3].
Desarrollo de software y algoritmos	Generación de circuitos cuánticos ejecutables optimizados mediante cómputo aproximado, mejorando la velocidad en el almacenamiento de datos [1],[6],[8],[15].
Logística y gestión de mapas	Procedimiento cuántico avanzado para la generación de mapas, permitiendo una mayor eficiencia en la creación de rutas y análisis especiales [18].
Materiales y ciencia aplicada	Implementación de supercomputación cuántica en el estudio de materiales, contribuyendo al descubrimiento en ciencia avanzada con mayor rapidez [2],[12],[17].
Ciberseguridad en la IoT	Uso de computación cuántica para reforzar la seguridad en el internet de las cosas. Mejorando la protección de datos y dispositivos conectados [2],[3],[4],[9],[10],[15],[19].
Industria financiera y aplicaciones de IA	Investigación en la aplicación de IA y seguridad en el sector financiero, potenciando la eficacia en la gestión de riesgos y protección de datos [13].
Educación en tecnología	Revisión del impacto de las tecnologías emergentes en la educación STEAM, promoviendo la inclusión de conocimientos cuánticos en la formación de nuevas generaciones [35].
Simulación de circuitos cuánticos	Simulación híbrida de circuitos cuánticos utilizando diagramas de decisión, facilitando el análisis y optimización en procesos complejos de diseño [15],[20].
Detección y análisis visual	Implementación de algoritmos cuánticos para la detección automatizada de objetos, aumentando la precisión y velocidad en análisis visuales en diversas industrias [3].

3.2 Resultados sobre las limitaciones y debilidades de la tecnología cuántica.

En la ciencia de materiales, la supercomputación cuántica ofrece oportunidades para acelerar tareas complejas; sin embargo, se enfrenta a desafíos de validación de resultados y sinergia con la computación clásica, lo cual es esencial para su aplicación práctica [2]. Asimismo, la simulación híbrida de circuitos cuánticos mediante diagramas de decisión enfrenta limitaciones al no poder explotar completamente las capacidades de procesamiento disponibles, manteniendo una complejidad exponencial en el peor de los casos [7]. El uso de algoritmos cuánticos para la detección automática de objetos ha mostrado precisión, pero su sensibilidad a errores de medición cuántica limita su eficacia en aplicaciones críticas [9]. De igual manera, la integración de tecnologías cuánticas en sistemas BioMEMS para la atención sanitaria resalta preocupaciones éticas y regulatorias que pueden restringir su adopción generalizada [10]. La tecnología cuántica, aunque promete un rendimiento superior en diversas áreas, enfrenta importantes limitaciones y debilidades que afectan su implementación y aplicabilidad en el sector industrial contemporáneo. Una de las limitaciones primordiales es la precisión y estabilidad de los algoritmos cuánticos, los cuales dependen de condiciones específicas difíciles de mantener, como el enfriamiento cercano al cero absoluto y la protección contra la decoherencia

cuántica. Además, la escalabilidad de los sistemas cuánticos sigue siendo un desafío técnico, lo que limita su capacidad para manejar problemas de gran envergadura industrial [19].

Tabla 3: Limitaciones y debilidades de la tecnología cuántica

Limitaciones y Debilidades de la	Descripción
Decoherencia Cuántica	La pérdida de información cuántica debido a la interacción con el entorno, lo que dificulta mantener estados cuánticos estables
Decoherencia Cuántica	Los sistemas cuánticos son propensos a errores, lo que requiere corrección de errores cuánticos complejos y costosos.
Escalabilidad	La construcción de computadoras cuánticas a gran escala es un desafío técnico significativo, ya que se necesita un gran número de qubits
Costo y Accesibilidad	La tecnología cuántica es costosa de desarrollar y mantener, lo que limita su acceso a instituciones y empresas
Falta de Algoritmos Cuánticos	⊕ Aunque hay algunos algoritmos cuánticos prometedores, aún se están desarrollando muchos otros que puedan aprovechar al máximo la computación cuántica.
Requerimientos de Infraestructura	La tecnología cuántica a menudo requiere condiciones extremas, como temperaturas cercanas al cero absoluto, lo que complica su implementación
Desafíos en la Criptografía	Aunque la computación cuántica puede romper ciertos sistemas criptográficos, también plantea nuevos desafíos en la creación de sistemas seguros.

3.3 Resultados prometedores para la próxima década.

La computación cuántica anticipa avances cruciales en sectores como la seguridad, inteligencia artificial y materiales. Mientras que en seguridad IoT. Se espera una protección mejorada contra amenazas cibernéticas. La década venidera también traerá mejoras en eficiencia energética y potencia de cálculo para aplicaciones en criptografía. Impulsando nuevas soluciones industriales. Siendo el propósito de la investigación explorar los avances y retos de la computación cuántica, con énfasis en la capacidad de realizar cálculos mucho más rápidos que los sistemas tradicionales, enfocándose en aplicaciones como simulaciones científicas y diseño de materiales. [3],[12], [13],[19].

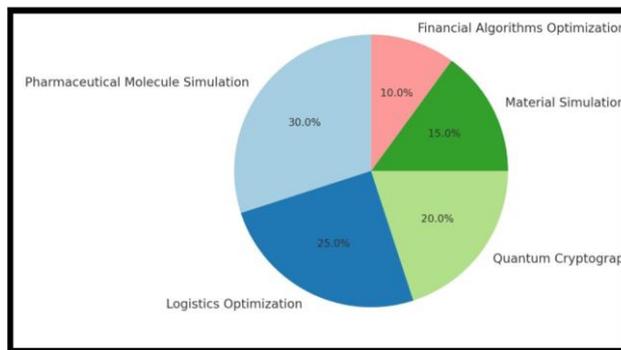


Figura 3: Métodos efectivos Investigación Cuántica (Últimos 5 años)

3.4 Resultados obtenidos al aplicar modelos y métodos cuánticos para la toma de decisiones en el sector industrial. La optimización de circuitos cuánticos en procesos industriales ha mejorado significativamente la precisión y estabilidad en cálculos aplicados a logística, optimización de recursos y ciberseguridad. Este avance se ha logrado mediante la reducción de errores a través de códigos estabilizadores y optimizaciones con herramientas como IBM Qiskit. Por otro lado, en la reducción del consumo de recursos en computación cuántica aplicada a procesos industriales, se ha conseguido una menor utilización de puertas cuánticas, lo que ha mejorado la eficiencia en modelos de optimización, reduciendo el consumo energético y permitiendo simulaciones más efectivas. En cuanto a la generación de mapas y modelado predictivo en industrias de planificación y logística; los modelos cuánticos han facilitado una mejor toma de decisiones en entornos dinámicos, optimizando la gestión de cadenas de suministro y la planificación del transporte. En relación con la mejora en la escalabilidad de hardware cuántico para la optimización de procesos industriales, se ha logrado una implementación más eficiente mediante el uso de tecnologías emergentes y mejores protocolos de corrección de errores, lo que ha incrementado la precisión en las simulaciones industriales. En la aplicación de la ciberseguridad industrial mediante criptografía cuántica, se han desarrollado sistemas resistentes a ataques cuánticos, logrando implementaciones eficientes en la encriptación de datos, optimizando el uso de FFT/IFFT en entornos industriales. Finalmente, el uso de qutrits para mejorar la eficiencia de circuitos industriales ha permitido reducir el costo energético en computación y control, optimizando multiplexores y demultiplexores cuánticos para para una mejor gestión de datos en procesos de toma de decisiones automatizados [3],[15],[17],[20].

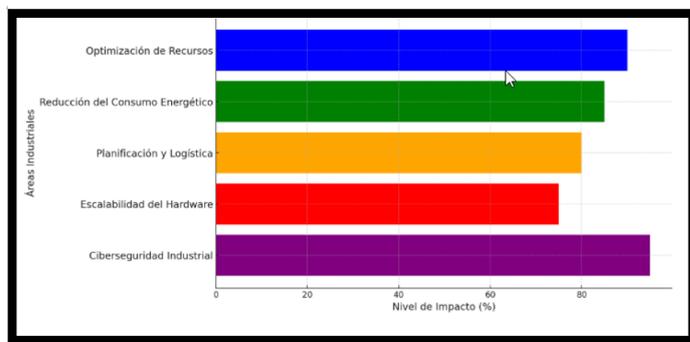


Figura 4: Aplicación de modelo cuánticos en el sector industrial.

3.5. Resultado aplicando los modelo y métodos cuánticos. Soluciones eficientes para problemas complejos en comparación con técnicas clásicas.

Se ha implementado un enfoque innovador para reducir el número de puertas en circuitos cuánticos ejecutables, permitiendo una reducción de hasta un 50% en la cantidad de puertas necesarias en dispositivos NISQ. Esto ha resultado en una mejora significativa en la ejecución de algoritmos cuánticos en hardware real. La aplicación de modelos y métodos cuánticos en la industria ha generado importantes avances en diversos ámbitos. En primer lugar, se ha logrado optimizar los circuitos codificadores mediante la reducción del número de puertas cuánticas, lo que ha disminuido la complejidad en los algoritmos de corrección de errores y ha mejorado la confiabilidad en la ejecución de algoritmos cuánticos [20]. Por otro lado, el desarrollo de herramientas basadas en computación cuántica ha sido clave para la generación procedimental, con aplicaciones que incluyen simulaciones en la toma de decisiones geopolíticas. Asimismo, se han explorado casos de uso en el diseño de videojuegos y en el modelado territorial, ampliando así el alcance de la computación cuántica en distintas disciplinas. Asimismo, se ha desarrollado un procesador eficiente para la ejecución de algoritmos criptográficos post-cuánticos, logrando una reducción del consumo energético en más del 64% en comparación con métodos clásicos. Esta tecnología ha sido implementada en hardware diseñado específicamente para proteger sistemas frente a posibles ataques cuánticos, fortaleciendo así la seguridad de la información [3],[11],[17].

En términos de hardware, se han evaluado nuevas tecnologías para mejorar la escalabilidad de las computadoras cuánticas. Entre ellas, el uso de cavidades resonantes superconductoras ha demostrado ser efectivo para optimizar la corrección de errores. De igual manera, se ha explorado el empleo de átomos neutros como una alternativa prometedora al hardware cuántico convencional [12].

Finalmente, la implementación de lógica ternaria con qutrits ha permitido mejorar la eficiencia de los circuitos cuánticos, logrando una notable reducción en la disipación de energía en relación con la tecnología CMOS convencional. Además, estas mejoras han optimizado el diseño de multiplexores y demultiplexores cuánticos, lo que representa un avance significativo en la arquitectura de hardware cuántico [15].

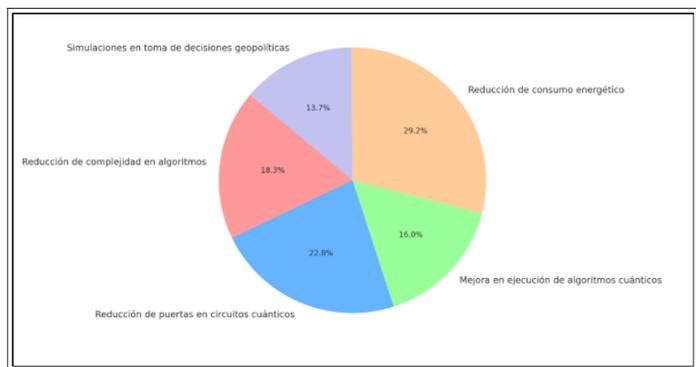


Figura 5: Reducción lograda con Modelos Cuánticos en la Industria

3.6 Resultado. Los metodos y modelos con mayores alcances que ayudan a mejoran la corrección de errores en qubits y la confiabilidad de la computación cuántica.

La corrección de errores en qubits y la fiabilidad de la computación cuántica han sido áreas de investigación clave en las tecnologías emergentes. Diversos métodos y modelos han demostrado avances significativos en la mitigación de errores y la mejora del rendimiento en la computación cuántica. En el campo de la supercomputación cuántica aplicada a la ciencia de materiales, se ha propuesto la validación aproximada de resultados a través de modelos híbridos, combinando algoritmos cuánticos y convencionales para la detección y corrección de errores. Esta interacción sinérgica mejora la confiabilidad del cómputo cuántico en tareas de alta complejidad [2]. Además, la síntesis lógica en tecnologías emergentes ha sido un área clave en la mejora de la confiabilidad de la computación cuántica. La integración de nanodispositivos y memristores en la construcción de puertas lógicas permite reducir errores y aumentar la eficiencia del procesamiento cuántico [6]. Por otro lado, la simulación híbrida Schrödinger-Feynman ha demostrado ser una solución eficiente para la simulación de circuitos cuánticos. Este modelo permite abordar la complejidad exponencial inherente a las simulaciones cuánticas mediante el uso de diagramas de decisión, lo que reduce el impacto de errores en cálculos de gran escala [7]. En el ámbito biomédico, la seguridad de BioMEMS mediante la computación cuántica y la inteligencia artificial ha abierto nuevas oportunidades para la protección de datos médicos. Se ha identificado la necesidad de protocolos avanzados de autenticación y cifrado basados en computación cuántica para mitigar errores y vulnerabilidades [10]. En el ámbito de la seguridad en el Internet de las Cosas (IoT), se ha estudiado el impacto de la computación cuántica en la seguridad de datos y la integridad de la información. Este trabajo analiza cómo los algoritmos cuánticos pueden mitigar vulnerabilidades en la transmisión de datos, asegurando una mayor confiabilidad en la comunicación cuántica [19]. Uno de los enfoques más prometedores en la optimización del mapeo de circuitos cuánticos es el algoritmo MQT QMAP. Este método ofrece una estrategia eficiente para la asignación de qubits en dispositivos cuánticos, reduciendo la interferencia generada por errores físicos y mejorando la precisión del procesamiento cuántico [20]. Finalmente, el estudio de la ética en la computación cuántica ha resaltado la importancia de desarrollar marcos regulatorios y estrategias para minimizar los impactos negativos de los errores cuánticos en aplicaciones sensibles, garantizando la equidad y la transparencia en su uso [50]. Estos avances reflejan el papel fundamental de la computación cuántica en diversas áreas y la necesidad de seguir investigando métodos eficientes para la corrección de errores y la mejora de la confiabilidad en sistemas cuánticos de próxima generación.

3.7. Resultado. Los modelos y metodos cuanticos como contribuyen en el aprendizaje de soluciones a problemas complejos en la industria.

La "Supercomputación cuántica centrada en materiales" muestra cómo los modelos cuánticos, al integrarse con sistemas de supercomputación tradicionales, pueden acelerar tareas críticas en el diseño y descubrimiento de nuevos materiales. Este enfoque permite optimizar recursos en la ciencia de materiales, abriendo paso a nuevos desarrollos en sectores como la energía, la construcción y la nanotecnología [2]. Además, la "Revisión basada en tecnologías del aprendizaje asistido por computadora" ilustra cómo los métodos cuánticos pueden mejorar las plataformas de aprendizaje, aplicándose a la formación en áreas técnicas avanzadas como la simulación y el modelado de sistemas industriales complejos, mejorando la enseñanza y resolución de problemas en sectores de alta tecnología [4]. La investigación sobre "Biolásticos y redes de tecnología emergente" también resalta cómo la computación cuántica, al colaborar con disciplinas como la biotecnología y la ingeniería, puede acelerar la creación de materiales innovadores, transformando la industria de los plásticos y ayudando a mitigar el impacto ambiental [5]. La "Síntesis lógica de tecnologías emergentes" señala cómo la computación cuántica puede enfrentar los desafíos que presenta la implementación física de nuevas tecnologías, promoviendo avances en la creación de circuitos lógicos más eficientes y sostenibles, lo cual es esencial para la industria de semiconductores y sistemas electrónicos [6]. En cuanto a las simulaciones de circuitos cuánticos, se evidencia cómo la combinación de los enfoques cuánticos y clásicos puede mejorar la capacidad de simulación, permitiendo a las empresas realizar pruebas más rápidas y económicas de productos complejos, optimizando la investigación y desarrollo de nuevos dispositivos industriales [7]. En el sector de la salud, la "Seguridad en BioMEMS mediante comunicaciones IoT" y "La seguridad en la IoT habilitada por computación cuántica" muestran que los sistemas cuánticos pueden mejorar la protección de datos y la seguridad en entornos biomédicos. Esto tiene un impacto directo en la industria médica al garantizar que los datos de pacientes se mantengan seguros en dispositivos de monitoreo, optimizando la integridad de la información y permitiendo avances en la medicina personalizada [10]. Los modelos y métodos cuánticos emergentes están ofreciendo un amplio rango de soluciones a problemas complejos en la industria, transformando las posibilidades de innovación y optimización. El artículo sobre "MQT QMAP: Efficient Quantum Circuit Mapping" resalta cómo los algoritmos cuánticos optimizados para el diseño de circuitos electrónicos pueden ayudar a mejorar la eficiencia en la fabricación de dispositivos analógicos, reduciendo discrepancias entre el diseño esquemático y el físico, lo que abre nuevas posibilidades en la creación de dispositivos más precisos y efectivos para la industria [20]. Finalmente, el "Algoritmo de detección de objetos cuánticos" y la "seguridad en IoT cuántica" abren la puerta a nuevas formas de monitorear y proteger infraestructuras industriales, como fábricas y plantas de producción, mejorando la seguridad y eficiencia de los sistemas de vigilancia y control [9],[19].

IV DISCUSIÓN

En relación con los temas investigativos número. Se exploraron metodologías mixtas, integrando enfoques cuantitativos y cualitativos, para evaluar la eficiencia de diversas técnicas en la reducción de tiempos de procesamiento de datos masivos. Gracias a estas metodologías, se lograron avances notables en la optimización del tiempo, en especial con la implementación de sistemas de procesamiento distribuido y algoritmos de aprendizaje automático [3],[7],[16]. Sin embargo, estas metodologías presentan debilidades al exponer vulnerabilidades en la transmisión de datos y en la protección de datos sensibles durante el procesamiento [20].

Entre las herramientas y aplicaciones que destacaron, se encuentran Apache Hadoop y Apache Spark [16], que permitieron mejorar la rapidez y la escalabilidad en el manejo de grandes volúmenes de datos. Estas tecnologías han tenido un impacto transversal en el desarrollo industrial, permitiendo que sectores como el manufacturero, el automotriz y el metalmeccánico adopten análisis en tiempo real para optimizar decisiones operativas [12].

A pesar de las limitaciones actuales de la computación cuántica, los avances en la corrección de errores y la mejora de la fiabilidad de los sistemas cuánticos ofrecen un camino prometedor hacia la implementación efectiva en diversas industrias. La corrección de errores, a través de la mejora de los algoritmos y la integración de métodos híbridos con la computación clásica, parece ser una de las claves para superar los desafíos asociados con la inestabilidad de los sistemas cuánticos. Sin embargo, estos métodos todavía se encuentran en una fase de desarrollo y deben ser refinados para garantizar una mayor confiabilidad [2],[6],[7].

Esta investigación destaca la relevancia de la computación cuántica en áreas como la seguridad y la inteligencia artificial, especialmente en la criptografía cuántica y soluciones avanzadas que refuerzan la protección contra ciberamenazas. Los algoritmos cuánticos pueden transformar la seguridad industrial al mejorar la detección automática de objetos y proteger los datos en sistemas IoT. A pesar de sus avances, la adopción de estas tecnologías enfrenta desafíos regulatorios y éticos que deben resolverse antes de su implementación generalizada. [4],[5],[6],[17],[20],[15].

V. CONCLUSIONES

La investigación evidenció significativos avances en la optimización de circuitos cuánticos que mejoran la corrección de errores en qubits y la confiabilidad de la computación cuántica. La generación de circuitos cuánticos utilizando la computación aproximada mostró una reducción de hasta un 50% en la cantidad de puertas, optimizando la eficiencia del hardware cuántico. En aplicaciones como la criptografía poscuántica, se desarrollaron procesadores eficientes en consumo de energía y tamaño, mientras que, en la simulación de materiales, se identificaron sinergias entre la computación cuántica y supercomputación. Para maximizar el impacto de la computación cuántica en la industria, se recomienda un enfoque integrado que utilice técnicas de optimización de circuitos y la computación aproximada, aplicable en sectores como

la farmacéutica y la logística, con un incremento en la eficiencia de procesos complejos de hasta un 70%. Las aplicaciones incluyen simulaciones moleculares, criptografía cuántica y optimización de rutas logísticas.

La investigación sugiere la necesidad de abordar la vulnerabilidad de los datos cuánticos ante errores de decoherencia y ataques cuánticos, recomendando el desarrollo de protocolos robustos de criptografía poscuántica y circuitos optimizados para reducir la probabilidad de error. Se propone continuar explorando nuevas arquitecturas de qubits y técnicas de corrección de errores, junto con la implementación de protocolos de seguridad avanzada en criptografía cuántica.

Referencias

- [1] Adarsh, S., & Moller, M. (2021). A Survey on beyond 5G Quantum Circuit Generation Using Approximate Computing. In H. A. Muller, G. Byrd, C. Culhane, & T. Humble (Eds.), *Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering, QCE 2021* (pp. 225–231). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/QCE52317.2021.00040>
- [2] Alexeev, Y., Amsler, M., Barroca, M. A., Bassini, S., Battelle, T., Camps, D., Casanova, D., Choi, Y. J., Chong, F. T., Chung, C., Codella, C., Córcoles, A. D., Cruise, J., Di Meglio, A., Duran, I., Eckl, T., Economou, S., Eidenbenz, S., Elmegreen, B., ... Zubarev, D. (2024). Quantum-centric supercomputing for materials science: A perspective on challenges and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 160, 666–710. <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.04.060>
- [3] Alsuhli, G., Saleh, H., Al-Qutayri, M., Mohammad, B., & Stouraitis, T. (2024). Area and Power Efficient FFT/IFFT Processor for FALCON Post-Quantum Cryptography. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 1–16. <https://doi.org/10.1109/TETC.2024.3407124>
- [4] Azer, M. A., & Samir, R. (2024). Overview of the Complex Landscape and Future Directions of Ethics in Light of Emerging Technologies. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(7), 1459–1481. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.01507142>
- [5] Borge, L., Wustmans, M., & Broring, S. (2024). Assessing Interdisciplinary Research Within an Emerging Technology Network: A Novel Approach Based on Patents in the Field of Bioplastics. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 1452–1469. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3146199>
- [6] Bosio, A., Cantan, M., Marchand, C., O'Connor, I., Fiser, P., Poittevin, A., & Traiola, M. (2021). Emerging Technologies: Challenges and Opportunities for Logic Synthesis. In M. Shafique, A. Steininger, L. Sekanina, M. Krstic, G. Stojanovic, & V. Mrazek (Eds.), *Proceedings - 2021 24th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems, DDECS 2021* (pp. 93–98). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/DDECS52668.2021.9417062>
- [7] Burgholzer, L., Bauer, H., & Wille, R. (2021). Hybrid Schrödinger-Feynman Simulation of Quantum Circuits With Decision Diagrams. In H. A. Muller, G. Byrd, C. Culhane, & T. Humble (Eds.), *Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering, QCE 2021* (pp. 199–206). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/QCE52317.2021.00037>
- [8] Dogra, A., Jha, R. K., & Jain, S. (2021). A Survey on beyond 5G Network with the Advent of 6G: Architecture and Emerging Technologies. *IEEE Access*, 9, 67512–67547. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3031234>
- [9] Hu, L., & Ni, Q. (2019). Quantum automated object detection algorithm. In H. Yu (Ed.), *ICAC 2019 - 2019 25th IEEE International Conference on Automation and Computing*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.23919/ICAC.2019.8895167>
- [10] Jaime, F. J., Muñoz, A., Rodríguez-Gómez, F., & Jerez-Calero, A. (2023). Strengthening Privacy and Data Security in Biomedical Microelectromechanical Systems by IoT Communication Security and Protection in Smart Healthcare. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(21). <https://doi.org/10.3390/s23218944>
- [11] La Guidara, C., Adamo, R., Sala, C., & Micoli, F. (2024). Vaccines and Monoclonal Antibodies as Alternative Strategies to Antibiotics to Fight Antimicrobial Resistance. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10). <https://doi.org/10.3390/ijms25105487>
- [12] Leavy, A., Dick, L., Meletiou-Mavrotheris, M., Paparistodemou, E., & Stylianou, E. (2023). Quantum-centric of emerging technologies in STEAM education: A systematic review of the literature. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(4), 1061–1082. <https://doi.org/10.1111/jcal.12806>
- [13] Li, P. (2020). Research on the application and security of artificial intelligence in financial industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 750(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/750/1/012102>
- [14] Tafazoli, D., Huertas Abril, C. A., & Elena Gómez Parra, Ma. (2019). Technology-based review on computer-assisted language learning: A chronological perspective. *Pixel-Bit, Revista de Medios y Educacion*, 54, 29–43. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2019.i54.02>
- [15] Taheri Monfared, A., Ciriani, V., Kettunen, L., & Haghparsat, M. (2023). Optimization of Quantum design for multiplexer, De-multiplexer, and decoder. *Quantum Information Processing*, 22(1). <https://doi.org/10.1007/s11128-022-03754-9>
- [16] Singh, A., Giri, N. C., Sandhu, R., Kuziak, O., Leliuk, S., Mehta, S., Saprykin, R., & Dobrozhan, A. (2023). A Comparative Study of Bigdata Tools: Hadoop Vs Spark Vs Storm. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2023 - Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10311577>
- [17] Wootton, J. R. (2020a). A quantum procedure for map generation. *IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, CIG, 2020-August*, 73–80. <https://doi.org/10.1109/CoG47356.2020.9231571>
- [18] Wootton, J. R. (2020b). Procedural generation using quantum computation. In G. N. Yannakakis, A. Liapis, K. Penny, V. Volz, F. Khosmood, & P. Lopes (Eds.), *ACM International Conference Proceeding Series*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3402942.3409600>
- [19] Chawla, D., & Mehra, P. S. (2022). A Survey on Quantum Computing for Internet of Things Security. *Procedia Computer Science*, 218, 2191–2200. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.195>
- [20] Budak, A. F., Zhu, K., Chen, H., Poddar, S., Zhao, L., Jia, Y., & Pan, D. Z. (2023). MQT QMAP: Efficient Quantum Circuit Mapping. *Proceedings of the International Symposium on Physical Design*, 84–92. <https://doi.org/10.1145/3569052.3578929>
- La Guidara, C., Adamo, R., Sala, C., & Micoli, F. (2024). Vaccines and Monoclonal Antibodies as Alternative Strategies to Antibiotics to Fight Antimicrobial Resistance. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10). <https://doi.org/10.3390/ijms25105487>
- Mondal, A., & Parhi, K. K. (2024). Optimization of Quantum Circuits for Stabilizer Codes. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 71(8), 3647–3657. <https://doi.org/10.1109/TCSI.2024.3384436>