



Impacto de la Computación Cuántica en la Educación STEM: Retos y Oportunidades

Impact of Quantum Computing on STEM Education: Challenges and Opportunities

Impacto da computação quântica na educação STEM: desafios e oportunidades

Juan Carlos Barco-Quiñonez ^I

jbarcoq@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-7356-2115>

Johanna Mariela Freire-Lasso ^{II}

jlasso@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-9479-4010>

Alonso Alberto Ortiz-Gusque ^{III}

aortizg1@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-9647-1770>

Franklin Macías-Arroyo ^{IV}

gmaciasa@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0794-7542>

Correspondencia: jbarcoq@unemi.edu.ec

Ciencias de la Computación

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 22 de septiembre de 2024 * **Aceptado:** 18 de octubre de 2024 * **Publicado:** 29 de noviembre de 2024

- I. Universidad Estatal de Milagro UNEMI, Ecuador.
- II. Universidad Estatal de Milagro UNEMI, Ecuador.
- III. Universidad Estatal de Milagro UNEMI, Ecuador.
- IV. Docente Investigador Agregado 1, Universidad Estatal de Milagro UNEMI, Ecuador.

Resumen

El avance de la tecnología cuántica está redefiniendo los enfoques educativos, especialmente en el desarrollo de habilidades STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas). Este artículo explora cómo la computación cuántica puede integrarse en los sistemas educativos para formar a las nuevas generaciones, destacando tanto sus posibilidades transformadoras como las barreras actuales para su implementación.

Basado en una revisión de literatura académica y el análisis de plataformas como Qiskit de IBM, se identifican beneficios claros, entre ellos la promoción del pensamiento abstracto, la resolución de problemas complejos y la alfabetización digital. Estas habilidades no solo fortalecen la preparación de los estudiantes para carreras futuras, sino que también generan interés en áreas de alta demanda tecnológica. Sin embargo, también se reconocen desafíos significativos, como la necesidad de formación docente especializada, la complejidad de los conceptos cuánticos y las brechas de acceso tecnológico en contextos educativos diversos.

Los hallazgos subrayan la importancia de estrategias colaborativas entre instituciones educativas, gobiernos y empresas tecnológicas. Mediante currículos inclusivos y accesibles, se puede garantizar que los estudiantes no solo comprendan los principios de la computación cuántica, sino que también estén capacitados para aplicar estos conocimientos en contextos reales, maximizando así las oportunidades en un mundo cada vez más digitalizado.

Palabras clave: tecnología cuántica; educación; habilidades STEM; innovación tecnológica; computación cuántica.

Abstract

The advancement of quantum technology is redefining educational approaches, especially in the development of STEM (science, technology, engineering and mathematics) skills. This article explores how quantum computing can be integrated into educational systems to train new generations, highlighting both its transformative possibilities and current barriers to its implementation.

Based on a review of academic literature and the analysis of platforms such as IBM's Qiskit, clear benefits are identified, including the promotion of abstract thinking, complex problem solving and digital literacy. These skills not only strengthen students' readiness for future careers, but also

generate interest in areas of high technological demand. However, significant challenges are also recognized, such as the need for specialized teacher training, the complexity of quantum concepts and technological access gaps in diverse educational contexts.

The findings underline the importance of collaborative strategies between educational institutions, governments and technology companies. Through inclusive and accessible curricula, it can be ensured that students not only understand the principles of quantum computing, but are also empowered to apply this knowledge in real-world contexts, thereby maximizing opportunities in an increasingly digitalized world.

Keywords: quantum technology; education; STEM skills; technological innovation; quantum computing.

Resumo

O avanço da tecnologia quântica está a redefinir as abordagens educativas, especialmente no desenvolvimento de competências STEM (ciência, tecnologia, engenharia e matemática). Este artigo explora como a computação quântica pode ser integrada nos sistemas educativos para formar as novas gerações, destacando tanto as suas possibilidades transformadoras como as atuais barreiras à sua implementação.

Com base numa revisão da literatura académica e na análise de plataformas como o Qiskit da IBM, são identificados benefícios claros, incluindo a promoção do pensamento abstrato, a resolução de problemas complexos e a literacia digital. Estas competências não só fortalecem a preparação dos alunos para as futuras carreiras, como também geram interesse em áreas de alta tecnologia. No entanto, são também reconhecidos desafios significativos, como a necessidade de formação especializada de professores, a complexidade dos conceitos quânticos e as lacunas de acesso tecnológico em diversos contextos educativos.

As descobertas destacam a importância das estratégias colaborativas entre instituições de ensino, governos e empresas tecnológicas. Através de currículos inclusivos e acessíveis, pode-se garantir que os alunos não só compreendem os princípios da computação quântica, como também são treinados para aplicar esse conhecimento em contextos do mundo real, maximizando assim as oportunidades num mundo cada vez mais digitalizado.

Palavras-chave: tecnologia quântica; educação; Competências STEM; inovação tecnológica; computação quântica.

Introducción

La computación cuántica ha emergido como una de las fronteras más emocionantes de la ciencia y la tecnología en el siglo XXI (Allende, 2019). A medida que los avances en esta disciplina continúan, su potencial para transformar disciplinas como la física, la química y la informática está atrayendo la atención de académicos, profesionales y educadores por igual (Cañedo, Ramos, & Guerrero, 2005). Sin embargo, el impacto de la computación cuántica no se limita únicamente al ámbito de la investigación científica y la industria; también presenta un conjunto de retos y oportunidades significativas para la educación en campos STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas).

En este sentido, es evidente que la tecnología cuántica ha emergido como una de las áreas más prometedoras e innovadoras en ciencia y tecnología, con aplicaciones que trascienden los límites de la computación tradicional. Basada en principios fundamentales como la superposición y el entrelazamiento, esta tecnología ha comenzado a transformar sectores como la criptografía, la optimización y la simulación de sistemas complejos. Aunque su impacto más evidente se observa en la investigación y la industria, sus implicaciones para la educación están cobrando una creciente relevancia, especialmente en la formación de competencias críticas en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). (Castro, 2020).

A medida que el mundo enfrenta una rápida digitalización, la necesidad de preparar a las nuevas generaciones para un futuro impulsado por tecnologías disruptivas se ha vuelto crucial. La computación cuántica ofrece oportunidades únicas para abordar esta necesidad al fomentar el pensamiento abstracto, la resolución de problemas complejos y la alfabetización digital. No obstante, su integración en los sistemas educativos plantea interrogantes clave:

- ¿Cómo pueden los educadores enseñar conceptos cuánticos de manera accesible y significativa?
- ¿Qué recursos y estrategias son necesarios para superar las barreras inherentes a esta tecnología, como su complejidad conceptual y el desigual acceso a herramientas avanzadas?

Este análisis tiene como objetivo destacar el potencial transformador de la tecnología cuántica en los enfoques educativos, además de generar un debate amplio sobre cómo estas innovaciones pueden contribuir a reducir las brechas educativas a nivel global.

Método

El presente estudio se desarrolla a través de una metodología de investigación cualitativa, debido a que propone explorar temáticas relacionado a nuestro objeto de estudio, así como analizar las oportunidades que la tecnología ofrece para transformar los enfoques educativos.

Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura académica y de iniciativas actuales, como el uso de plataformas de programación cuántica accesibles como por ejemplo Qiskit de IBM, y se evalúan sus implicaciones pedagógicas. Además, se destacan los factores críticos necesarios para democratizar el acceso a estas herramientas, incluyendo la capacitación docente, el diseño de currículos adaptativos y las colaboraciones interinstitucionales.

Desarrollo

Para llevar a cabo este estudio, se realizó una revisión sistemática de literatura utilizando bases de datos académicas como Google Scholar, JSTOR y IEEE Xplore, desde 2010 hasta la fecha. Se seleccionaron artículos relevantes que abordaran la integración de la computación cuántica en la educación, centrándose en los beneficios pedagógicos, las barreras tecnológicas y los estudios de caso en diferentes contextos educativos.

Tecnología cuántica y computación cuántica

La tecnología cuántica se refiere a las aplicaciones de la física cuántica que explotan fenómenos como la superposición y el entrelazamiento para desarrollar nuevas formas de procesar información, más allá de las capacidades de las tecnologías tradicionales. La computación cuántica, en particular, es un campo fundamental dentro de esta área, que emplea qubits en lugar de los tradicionales bits binarios. Los qubits pueden existir en múltiples estados a la vez, lo que les permite procesar información de manera mucho más eficiente para ciertos tipos de problemas complejos, como la simulación de moléculas para el diseño de fármacos o la optimización de sistemas en tiempo real (Preskill, 2018).

El avance en la computación cuántica está llevando a desarrollos tecnológicos de gran impacto, como algoritmos cuánticos para mejorar la eficiencia en el procesamiento de datos y la criptografía cuántica, que promete revolucionar la seguridad informática.

Sin embargo, su integración en sistemas educativos está en sus primeras etapas, ya que, además de la necesidad de conocimientos profundos en física cuántica, se requiere una formación específica en programación cuántica, que permita a los estudiantes comprender y aplicar estos conceptos.

Relación entre la computación cuántica y la educación

La computación cuántica no solo está transformando la tecnología, sino también los enfoques educativos, especialmente en el ámbito de las habilidades STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas). Iniciativas de aprendizaje como Qiskit, una plataforma abierta de IBM, ofrecen a los estudiantes acceso a computadoras cuánticas reales a través de simulaciones y ejercicios prácticos, brindándoles una experiencia directa en un entorno de computación avanzada (IBM, 2020).

El campo de la computación cuántica es interdisciplinario, lo que significa que su enseñanza involucra aspectos de física, informática, matemáticas y filosofía. Según estudios recientes, la integración de la computación cuántica en los currículos educativos no solo mejora el pensamiento abstracto de los estudiantes, sino que también refuerza su capacidad para abordar problemas complejos, un componente esencial en la formación de futuros científicos y profesionales en sectores tecnológicos (Biamonte, 2017). Además, el desarrollo de esta habilidad está alineado con las demandas del mercado laboral actual, que requiere profesionales capaces de entender y aplicar conceptos tecnológicos avanzados.

Revisión de literatura sobre la enseñanza de tecnologías emergentes

La literatura sobre el uso de tecnologías emergentes en la educación destaca su potencial para mejorar las metodologías de enseñanza y aprendizaje. Según Biamonte (2017), la computación cuántica no solo puede servir como una herramienta poderosa en la resolución de problemas matemáticos complejos, sino también como una forma de involucrar a los estudiantes en áreas multidisciplinarias como la física, la informática y las matemáticas avanzadas. Este enfoque multidisciplinario abre nuevas oportunidades para la creación de programas educativos innovadores que vinculan las ciencias y la tecnología con la práctica educativa, tal como lo propone Fujii (2021), quien enfatiza la necesidad de integrar herramientas avanzadas en la formación académica a nivel universitario.

Además, investigaciones como las de Dahlberg & Lin (2020) en universidades de Asia y Europa indican que la adopción de plataformas de computación cuántica, como Qiskit de IBM, ha permitido a las instituciones mejorar el aprendizaje práctico de los estudiantes mediante simulaciones cuánticas. Este enfoque no solo mejora la comprensión de conceptos abstractos en física cuántica, sino que también permite a los estudiantes desarrollar habilidades en programación y algoritmos cuánticos, que son cada vez más relevantes en la industria tecnológica.

En la región de América Latina, González & Rodríguez (2022) documentan cómo universidades en Colombia y Perú están implementando programas piloto para la enseñanza de conceptos cuánticos mediante plataformas en la nube, lo que proporciona acceso a la tecnología sin necesidad de contar con infraestructura avanzada en las aulas.

Sin embargo, estos avances se ven limitados por barreras tecnológicas, como la conexión a Internet de baja calidad y la falta de formación específica para los docentes. A pesar de estas limitaciones, el trabajo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), citado por Pérez et al. (2019), muestra cómo el uso de simuladores cuánticos en cursos de física ha demostrado ser efectivo para mejorar la comprensión de estudiantes en etapas tempranas de la educación superior. Por otro lado, las iniciativas de colaboración entre universidades e industrias están promoviendo el desarrollo de programas educativos más inclusivos y accesibles. La colaboración entre IBM y universidades de todo el mundo, como la Universidad de Tokio, ha contribuido al establecimiento de cursos y recursos para formar a la próxima generación de científicos cuánticos, capaces de utilizar las computadoras cuánticas en investigaciones científicas y aplicaciones industriales (IBM, 2020).

Herramientas Educativas Cuánticas

El uso de plataformas de código abierto como Qiskit de IBM ha facilitado la enseñanza de la computación cuántica. Estas herramientas permiten a los estudiantes realizar simulaciones y ejecutar algoritmos cuánticos sin la necesidad de hardware cuántico físico, lo cual democratiza el acceso a esta tecnología emergente (IBM, 2020). Sin embargo, el reto sigue siendo la brecha de acceso a la tecnología en diversas regiones, lo que limita la expansión de estos recursos a nivel global (Arvind, 2021).

No obstante, el acceso limitado a estas tecnologías en algunas regiones sigue siendo un reto, junto con la necesidad de crear currículos adaptados y accesibles para todos los niveles educativos (Dahlberg & Lin, 2020).

Desafíos y oportunidades

Según Weber y Scholl (2021), la integración de la computación cuántica en la educación informática presenta tanto desafíos como oportunidades. Destacan que la complejidad de los conceptos cuánticos y la necesidad de capacitar adecuadamente a los educadores son factores clave a abordar. Sin embargo, también identifican importantes oportunidades, como la mejora en las áreas STEM y el impacto potencial en el desarrollo de la inteligencia artificial y la investigación científica.

Aunque la incorporación de la computación cuántica en los sistemas educativos presenta enormes oportunidades, también enfrenta varios desafíos. La complejidad de los conceptos cuánticos requiere de un enfoque pedagógico adecuado, que permita a los estudiantes no solo comprender la teoría, sino también aplicar sus conocimientos en contextos reales. Además, la capacitación de los educadores es un factor crucial para garantizar que la enseñanza sea efectiva y accesible. Las brechas en el acceso a la tecnología también pueden limitar la implementación equitativa de estos programas, especialmente en países o regiones con recursos educativos limitados.

Impacto actual y potencial de la tecnología cuántica en la educación

La tecnología cuántica está cambiando rápidamente el panorama de diversas industrias, y su influencia en el ámbito educativo se está convirtiendo en un tema clave en la formación de las nuevas generaciones. A pesar de ser un campo emergente, la computación cuántica ya está mostrando su capacidad para transformar el enfoque tradicional de enseñanza, especialmente en las áreas de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM).

Las aplicaciones de la física cuántica permiten resolver problemas extremadamente complejos, lo que podría revolucionar la manera en que los estudiantes abordan temas avanzados en matemáticas y física, fomentando habilidades críticas como el pensamiento abstracto y la capacidad para manejar problemas multidimensionales (Biamonte, 2017).

Plataformas como Qiskit de IBM están permitiendo que los estudiantes interactúen con computadoras cuánticas reales, algo que no solo refuerza el aprendizaje teórico, sino que ofrece una experiencia práctica que puede ser esencial para el desarrollo de habilidades técnicas avanzadas (IBM, 2020). Esta tecnología también tiene implicaciones en campos de alto impacto, como la criptografía cuántica, la inteligencia artificial y la simulación de materiales, áreas que están ganando relevancia a medida que las aplicaciones cuánticas continúan avanzando.

El potencial educativo de la computación cuántica va más allá de la simple enseñanza de los principios de la física cuántica. Al integrar esta tecnología en los currículos, se abren nuevas oportunidades para que los estudiantes se involucren con áreas de innovación tecnológica de gran demanda, como la seguridad informática y el diseño de nuevos materiales, que jugarán un papel central en el futuro de la tecnología global.

Sin embargo, tal como afirman autores como (Martín & Fernández, 2022), la implementación en los sistemas educativos aún se encuentra en sus primeras etapas. El potencial de la computación cuántica para transformar la educación es considerable. A medida que los avances tecnológicos continúan, las herramientas basadas en computación cuántica pueden ofrecer simulaciones más realistas en áreas como la biología, la química y la física, permitiendo a los estudiantes realizar experimentos virtuales que antes eran imposibles. Esto tiene el poder de cambiar la forma en que se enseñan y se aprenden estos campos, convirtiéndolos en más interactivos y accesibles.

Barreras en la adopción de la tecnología cuántica en la educación

La adopción de tecnologías emergentes, como la computación cuántica, presenta varios desafíos dentro del ámbito educativo. Uno de los mayores obstáculos es la complejidad de los conceptos cuánticos, que requieren un enfoque pedagógico adecuado para ser comprendidos y aplicados de manera efectiva.

Esta dificultad se agrava por la falta de formación especializada entre los docentes, quienes muchas veces no están preparados para enseñar estos temas avanzados a los estudiantes (González & Rodríguez, 2022). Además, las brechas en el acceso a infraestructura tecnológica y la desigualdad en la distribución de recursos educativos limitan la implementación de tecnologías cuánticas, lo que puede generar desigualdades en la educación entre diferentes regiones y países.

Por otro lado, también existe una notable resistencia al cambio en muchos sistemas educativos. Esta resistencia se debe en parte al temor de los educadores a utilizar nuevas tecnologías, al

desconocimiento de su potencial y a la sobrecarga de los programas educativos tradicionales. La falta de confianza en la efectividad de estas tecnologías, junto con la escasa capacitación y apoyo técnico disponible, constituye un reto considerable (Pérez & Sánchez, 2023).

Pese a sus vastas posibilidades, la implementación de la computación cuántica en las aulas enfrenta importantes desafíos. Uno de los mayores obstáculos es la complejidad de los principios cuánticos. La naturaleza abstracta de conceptos como la superposición y el entrelazamiento cuántico puede resultar intimidante para estudiantes sin una base sólida en matemáticas o física avanzada. Además, la falta de recursos tecnológicos adecuados en muchas instituciones educativas, especialmente en países en desarrollo, limita el acceso a plataformas como Qiskit o a equipos de computación cuántica reales, lo cual impide que una parte significativa de los estudiantes se beneficie de estas herramientas de aprendizaje avanzadas.

Otro reto crucial es la capacitación de los docentes. La enseñanza de computación cuántica requiere que los educadores tengan un conocimiento profundo no solo en física y matemáticas, sino también en la programación cuántica y el uso de plataformas específicas. Esta falta de preparación de los profesores está dificultando la integración efectiva de esta tecnología en los planes de estudio (Fujii, 2021).

Oportunidades futuras

A pesar de los retos, el futuro de la educación cuántica es prometedor. Con el aumento del interés de las instituciones académicas, empresas tecnológicas y gobiernos, es probable que se desarrollen más iniciativas para democratizar el acceso a la computación cuántica en la educación.

Los esfuerzos de colaboración entre universidades, como los de IBM con varias universidades a nivel mundial, buscan ofrecer cursos, recursos y acceso a plataformas cuánticas, lo que permitirá que estudiantes de diversas partes del mundo adquieran habilidades avanzadas en computación cuántica (Arvind, 2021). Además, el desarrollo de currículos más accesibles y la creación de recursos pedagógicos innovadores están abriendo nuevas puertas para que la computación cuántica sea entendida y aplicada por los estudiantes de manera efectiva.

Por lo tanto, aunque los obstáculos actuales son considerables, el panorama está cambiando con rapidez. A medida que se superen estas barreras, las nuevas generaciones estarán mejor preparadas para participar en el mundo cuántico que está emergiendo, lo que les brindará ventajas competitivas en un mercado laboral cada vez más tecnológico.

Conclusiones

La tecnología cuántica está emergiendo como un campo crucial que puede transformar las prácticas educativas, particularmente en el desarrollo de habilidades STEM. Al integrar la computación cuántica en los sistemas educativos, se abren nuevas oportunidades para el desarrollo de habilidades cognitivas avanzadas, como la resolución de problemas complejos, la mejora del pensamiento crítico y la alfabetización digital. Este enfoque no solo prepara a los estudiantes para los desafíos tecnológicos del futuro, sino que también fomenta el interés en campos como la inteligencia artificial y la seguridad cibernética.

Además, la complejidad inherente de los principios cuánticos plantea un reto significativo tanto para educadores como para estudiantes, lo que exige un enfoque pedagógico que permita desmitificar estos conceptos.

Por tal motivo, aunque la tecnología cuántica ofrece un potencial transformador para la educación, su integración efectiva depende de superar barreras como la falta de recursos y la necesidad de capacitación especializada. La creación de estrategias de enseñanza inclusivas, la inversión en infraestructura y la colaboración entre instituciones educativas y empresas tecnológicas serán fundamentales para garantizar que todos los estudiantes tengan la oportunidad de beneficiarse de estas tecnologías emergentes.

Referencias

1. Allende, M. (2019, 08 15). La promesa de una nueva era tecnológica: la era cuántica. Retrieved from <https://blogs.iadb.org/innovacion/es/impacto-de-las-tecnologias-cuanticas/>
2. Arvind, B. (2021). Ethics and technology: Insights from quantum computing. In Springer.
3. Biamonte, J. e. (2017). Quantum machine learning. . Nature , 195-202.
4. Cañedo, R., Ramos , R., & Guerrero, J. (2005). La Informática, la Computación y la Ciencia de la Información: una alianza para el desarrollo. ECIMED. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v13n5/aci07505.pdf>
5. Castro, Á., Iturbe, C., Jiménez, R., & Silva Marcela. (2020). ¿Educación STEM o en humanidades? Una reflexión en torno a la formación integral del ciudadano del siglo XXI. Utopía y Praxis Latinoamericana, 25(9). Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/279/27964626016/html/>

6. Coello, G. O., Bazán, M. L., Aldaz, N. M., Calle, H. d., & Vásquez, M. F. (2024). Educational Gamification to Improve Knowledge and Sexist Attitudes in Teachers. *Migration Letters*, 338-350. Retrieved from https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/133865/AC_Coello_FGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
7. Dahlberg, A., & Lin, M. (2020). Bridging the quantum gap: Education and public policy in the era of quantum computing. *Journal of Computer Science Education*, 1-16.
8. Fujii, T. (2021). University of Tokyo's role in quantum computing education and research. *The University of Tokyo*.
9. González, L., & Rodríguez, M. (2022). Barreras y oportunidades en la integración de tecnologías cuánticas en la educación. *Revista de Innovación y Tecnología Educativa*, 15(3), 34-45.
10. IBM. (2020). Qiskit: An open-source quantum computing framework. Retrieved from <https://www.qiskit.org/>
11. Martín, D., & Fernández, P. (2022). La computación cuántica y su impacto en la educación: Una revisión crítica. *Revista de Innovación y Educación Tecnológica*, 45-62.
12. Pérez, R., & Sánchez, A. (2023). Desafíos en la adopción de la computación cuántica en la enseñanza. *Revista Latinoamericana de Educación y Tecnología*, 18-29.
13. Preskill, J. (2018). Quantum computing in the NISQ era and beyond. *Quantum*, 2 - 79.
14. Weber, M., & Scholl, M. (2021). Quantum computing as a topic in computer science education. *Proceedings of the 16th Workshop in Primary and Secondary Computing Education. WiPSCE '21*, 1 - 10.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).