



La revolución en la inteligencia artificial. De lo clásico a lo cuántico

The revolution in artificial intelligence. From classical to quantum



Maritza Núñez

Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda"

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7676-2485>

maritza.nunez.696@gmail.com

Falcon-Venezuela

Resumen

Esta investigación está enfocada en la transformación de la inteligencia artificial (IA) desde sus inicios de paradigmas clásicos hasta su desarrollo contemporáneo en el contexto de la computación cuántica. A medida que la IA ha evolucionado, ha demostrado ser una herramienta fundamental en diversos sectores, desde la salud pasando por la educación hasta las finanzas. Este artículo tiene como propósito explorar la evolución de la IA desde sus fundamentos clásicos hasta las innovaciones emergentes en la computación cuántica. Se trata de una investigación cualitativa, enmarcada en una metodología de un tipo de estudio documental, utilizando la técnica de la revisión documental la cual consistió en un análisis crítico y sistemático de documentos previamente elaborados, con el propósito de extraer información pertinente y relevante, posibilitando detallar el fenómeno analizado mediante la caracterización de esta tecnología. Uno de los principales hallazgos emanados de esta investigación, revelan que los algoritmos cuánticos pueden realizar tareas computacionales que, en su versión clásica, consumirían un tiempo exorbitante. De esta manera, se concluye que la integración de la computación cuántica en la IA no solo es viable, sino que también podría marcar un antes y un después en el campo científico y tecnológico. Sin embargo, se enfatiza la necesidad de seguir investigando en la implementación práctica y la escalabilidad de estas tecnologías para que su potencial se materialice completamente, abriendo un nuevo horizonte para el desarrollo de soluciones innovadoras en las diferentes disciplinas de la ciencia, la tecnología y la investigación.

Abstract

This article focuses on the transformation of artificial intelligence (AI) from its beginnings in classical paradigms to its contemporary development in the context of quantum computing. As artificial intelligence has evolved, it has proven to be an essential tool in various sectors, from health going through education to finance. The main purpose of this article is to explore the evolution of artificial intelligence from its classical foundations to emerging innovations in quantum computing. This is a qualitative research, framed in a methodology of a type of documentary study, using the technique of documentary review, which consisted of a critical and systematic analysis of previously prepared documents, with the purpose of extracting pertinent and relevant information, making it possible to detail the analyzed phenomenon by characterizing this technology. One of the main findings emanating from this research reveals that quantum algorithms can perform computational tasks that, in their classical version, would consume an exorbitant amount of time. This way, it is concluded that the integration of quantum computing into artificial intelligence is not only viable, but could also mark a before and after in the field. However, the need to continue researching the practical implementation and scalability of these technologies is emphasized so that their potential is fully realized, opening a new horizon for the development of innovative solutions in the different disciplines of science, technology and scientific research.

Palabras clave:

Inteligencia artificial; clásico; cuántico; algoritmos; tecnología

Keywords:

Artificial intelligence; classical; quantum; algorithms; technology



Introducción

La inteligencia artificial (IA, en adelante), ha evolucionado de manera significativa desde sus inicios en la década de 1950, marcada por la creación de algoritmos que imitaban funciones cognitivas humanas en entornos computacionales limitados. Este desarrollo se ha caracterizado por una serie de avances en el procesamiento de datos, el aprendizaje automático y la optimización, enmarcados en una lógica tradicional de computación binaria. Sin embargo, con la llegada de la computación cuántica, la IA se encuentra al borde de una transformación radical que promete revolucionar no solo las capacidades técnicas de los sistemas inteligentes, sino también la manera en que interactuamos con la tecnología y abordamos problemas complejos.

En este sentido, la computación cuántica que se basa en principios de la mecánica cuántica, introduce conceptos innovadores como la superposición, el entrelazado y la interferencia cuántica (Chuang y Nielsen y 2010, p. 87). Estos fenómenos permiten a los sistemas cuánticos procesar una cantidad de información mucho mayor y resolver tareas que son difíciles para las computadoras convencionales. La implementación de estas propiedades ha llevado a la formulación de algoritmos cuánticos que pueden superar limitaciones fundamentales de la computación clásica, brindando así la oportunidad de redefinir los paradigmas existentes actualmente en IA.

De este modo, un área particularmente prometedora en la que la inteligencia artificial cuántica puede generar un impacto es el aprendizaje automático. En donde investigaciones recientes, como las de Benedetti *et al.* (2021), han mostrado que los circuitos cuánticos parametrizados pueden actuar como modelos de aprendizaje automático capaces de aprender patrones en datos con una eficiencia sin precedentes. Esto abre nuevos caminos para aplicaciones en muchas industrias, que pueden ir desde la farmacología hasta la inteligencia de negocios, donde la capacidad para manejar y analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real se convierte en un factor diferencial (Benedetti *et al.*, 2021: p. 57).

Sin embargo, a pesar de este potencial transformador, la transición de la IA clásica a la cuántica no está exenta de sufrir desafíos. Uno de los obstáculos más significativos es la decoherencia cuántica, que afecta la estabilidad de los *qubits* y por tanto, la fiabilidad de los dispositivos cuánticos. (Preskill, 2018, p. 5). Adicionalmente, la falta de expertos en computación cuántica y en técnicas de IA representa una barrera crítica para la adopción generalizada de estas tecnologías.

Es así, como este trabajo tiene como propósito indagar los diferentes aspectos de la revolución de la inteligencia artificial en el contexto de la computación cuántica, evaluando las aplicaciones emergentes y los desafíos que deben ser afrontados para que esta transformación se materialice de manera efectiva. Mediante un análisis profundo de las literaturas existentes y las innovaciones recientes en el campo, se espera brindar una visión comprensiva sobre cómo esta transición podría redefinir el futuro de la IA y su impacto en diversos sectores de la economía y la sociedad en general.

Por todo lo expuesto anteriormente, surge la relevancia de este estudio, que busca evidenciar la importancia en la evolución y la IA de lo clásico a lo cuántico. La transición hacia la IA cuántica, no solo promete mejorar la precisión y la rapidez en una variedad de aplicaciones sino que también plantea un futuro, en el que las máquinas podrían aprender y adaptarse de manera más efectiva, transformando así la interacción entre humanos y la tecnología. De esta manera, para llevar a cabo esta investigación, fue necesario efectuar la siguiente interrogante: ¿Cómo impacta la computación cuántica en la evolución de la inteligencia artificial?

Historia de la inteligencia artificial clásica

El origen de la IA se remonta a tiempos antiguos, donde la creación de seres semejantes al ser humano ha sido un deseo constante. Así, con la llegada de la IA, se han



desarrollado aplicaciones que impactan significativamente en la vida cotidiana. A principios del siglo XX, el escritor ruso Isaac Asimov (1920-1992) imaginó en sus obras de ciencia ficción que serían la inspiración para científicos e ingenieros que buscarían materializarlas.

En la década de 1950, se sentaron las bases teóricas de la IA. El matemático Alan Turing, considerado un pionero del campo, publicó su artículo "*Computing Machinery and Intelligence*", donde propuso que una máquina podría imitar el comportamiento de la mente humana mediante una prueba, conocida como el "test de Turing", que evalúa si una máquina puede comportarse de manera inteligente. Este marco provocó que muchos investigadores se interesaran en el desarrollo de sistemas de IA lingüísticos, conduciendo al nacimiento de los "Chatbots" (Turing, 1950, p. 433).

La conferencia de Dartmouth en 1956, organizada por John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester y Claude Shannon, fue un punto de inflexión al acuñar el término "inteligencia artificial". En ella, se planteó que "cada aspecto del aprendizaje o cualquier otra función de la inteligencia puede, en principio, ser tan bien descrito que una máquina pueda simularlo" (McCarthy, *et al.*, 1955, p. 2). Las décadas siguientes vieron avances y períodos de desencanto conocidos como "inviernos de la IA".

En los 80, la llegada de sistemas expertos aplicó la IA a problemas específicos, pero fue en el siglo XXI, con la explosión de datos y el aumento del poder computacional, que la IA despegó, alcanzando hitos como la victoria de AlphaGo en 2016 (Silver, *et al.*, 2016: p. 606). A pesar de las críticas, la IA en la actualidad se ha consolidado como un importante campo de investigación, influyendo en áreas como la educación, la ciencia y ética.

Es así, como este trabajo tiene como propósito indagar los diferentes aspectos de la revolución de la inteligencia artificial en el contexto de la computación cuántica, evaluando las aplicaciones emergentes y los desafíos que deben ser afrontados para que esta transformación se materialice de manera efectiva. Mediante un análisis profundo de las literaturas existentes y las innovaciones recientes en el campo, se espera brindar una visión comprensiva sobre

cómo esta transición podría redefinir el futuro de la IA y su impacto en diversos sectores de la economía y la sociedad en general.

Por todo lo expuesto anteriormente, surge la relevancia de este estudio, que busca evidenciar la importancia en la evolución y la IA de lo clásico a lo cuántico. La transición hacia la IA cuántica, no solo promete mejorar la precisión y la rapidez en una variedad de aplicaciones sino que también plantea un futuro, en el que las máquinas podrían aprender y adaptarse de manera más efectiva, transformando así la interacción entre humanos y la tecnología. De esta manera, para llevar a cabo esta investigación, fue necesario efectuar la siguiente interrogante: ¿Cómo impacta la computación cuántica en la evolución de la IA?

Inteligencia artificial clásica

La IA, se refiere a la capacidad de los sistemas informáticos para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento y la resolución de problemas. Asimismo, la IA en las últimas décadas ha podido revolucionar la vida del ser humano de una manera muy significativa, por este motivo actualmente existen autores que han definido la IA con el fin de tratar de caracterizarla, tal como lo manifiesta Sharma (2020), quien afirma que: "se basa en imitar y cambiar la inteligencia humana mediante tecnologías artificiales con el fin de inventar máquinas inteligentes".

De igual manera, Macías (2021), expresa que la IA son todos "aquellos conocimientos que las máquinas aprenden mediante la experiencia, se adaptan a nuevos requerimientos y realizan actividades como las personas". Lo que significa, que a través del uso de modelos matemáticos y lógicos, un sistema informático puede simular el razonamiento de las personas para adquirir conocimientos mediante nueva información suministrada y de esta forma poder tomar decisiones.

Mientras, que Shulman (2023), argumenta que la IA "está basada en algoritmos y modelos matemáticos com-



plejos que hacen posible que las máquinas imiten capacidades cognitivas humanas, como la percepción, el razonamiento y el aprendizaje”. De forma que, a través del uso de técnicas como el aprendizaje automático, la IA tiene la habilidad de analizar datos de manera más efectiva y precisa en comparación con los procedimientos tradicionales.

En este sentido, estos autores resaltan los diferentes matices sobre la IA que revela las distintas dimensiones de este fenómeno, destacándola como un esfuerzo para imitar y transformar la inteligencia humana a través de tecnologías, sugiriendo un proceso creativo, desde un enfoque técnico, acentuando el uso de modelos matemáticos que simulan habilidades cognitivas, que redefine los procesos de aprendizaje y decisión en contextos como la ciencia, tecnológico, educativos, sociales, entre otros.

Tecnología cuántica

De acuerdo, a Eket, *et al.*, (2023). Las tecnologías cuánticas son un conjunto de técnicas y herramientas que se basan en las leyes de la física cuántica y que se utilizan para abordar la resolución de problemas complejos. Se engloban en tres grandes grupos:

- La computación cuántica-*quantum computing*: que se utiliza para realizar cálculos más rápidos y precisos que los ordenadores clásicos.
- La comunicación cuántica: que permite la transmisión segura de información mayor velocidades que las comunicaciones clásicas.
- La medición cuántica: que se refiere a la utilización de fenómenos cuánticos para medir y detectar señales muy débiles.

Las tecnologías cuánticas se basan en el comportamiento de la materia y la energía a nivel cuántico, esto es, a nivel atómico y subatómico. Los avances en el control y manipulación de átomos y fotones a nivel individual constituyen uno de los logros más destacados de la física cuántica en los últimos años. Estos avances han permitido a los científicos desarrollar una serie de tecnologías cuánticas muy prometedoras, como comunicación cuántica (la cual

utiliza la teleportación cuántica), sensorica cuántica y computación cuántica. El elemento de información básico en un sistema cuántico es el *qubits* y puede tomar cualquier valor en un continuo de estados cuánticos. A diferencia de un bit, que es la unidad de información básica en la informática clásica y puede tener dos estados (cero o uno), un *qubits* puede estar en una combinación lineal de ambos estados al mismo tiempo, es decir una superposición cuántica (Eket, *et al.*, 2023, p. 2).

Asimismo, la computación cuántica puede ayudar a encontrar nuevas formas de modelar datos financieros, aislar factores de riesgo globales clave para realizar mejores inversiones, generar o predecir escenarios predictivos y realizar coberturas de contingencia para muchas industrias, o por ejemplo, reducir los tiempos en el estudio y desarrollo de nuevos fármacos o antivirales. Y puede igualmente hacer que las facetas de la inteligencia artificial, como el aprendizaje automático, sean mucho más poderosas y potentes para casi cualquier sector o industria intensiva en datos o también, en estos momentos de los ODS de 2030 de las Naciones Unidas, desarrollar soluciones para ser más eficientes energéticamente y luchar contra el calentamiento global entre otras cosas (Moreno, 2023).

En este mismo orden de idea, Moreno, (2023), señala que la IA está avanzando de forma progresiva con una orientación hacia los sistemas y modelos de experimentación cuántica, escalando el entrelazamiento y la superposición de estados hasta niveles inimaginables, sin la necesidad directa de científicos de datos o expertos en la IA, lo que no indica que no pueda estar asistida para mejorarla o, incluso, controlarla. Los principales fabricantes de soluciones de IA están desarrollando experimentos que trascienden cualquier idea humana e igualmente están consiguiendo un progreso sorprendente en las fronteras de la física cuántica, hasta el momento, solo con carácter experimental.





Inteligencia artificial cuántica

Un primer enfoque sobre la definición de IA cuántica es proporcionado por Babbush *et al.*, (2018), quienes la describen como "el uso de computadoras cuánticas para realizar tareas de aprendizaje automático, donde los qubits permiten la representación y manipulación de información a través de superposición y entrelazamiento" (Babbush *et al.*, 2018, p. 4). Esta idea enfatiza cómo la IA cuántica capitaliza las propiedades únicas de la computación cuántica para abordar problemas que son arduos para los algoritmos clásicos, ofreciendo soluciones que antes se consideraban impracticables.

En segundo lugar, se presenta a Farhi y Harrow (2016) quienes argumentan que la IA cuántica consiste en "un conjunto de algoritmos de aprendizaje que utilizan el procesamiento cuántico para encontrar patrones en datos grandes de una manera que no es factible con las técnicas de computación clásicas", (Farhi y Harrow, 2016, p. 3). Esta perspectiva subraya la capacidad de la IA cuántica para manejar conjuntos de datos masivos, permitiendo el descubrimiento de patrones y la optimización a escalas previamente inalcanzables.

En tanto, Jordán *et al.*, (2019) aborda el concepto desde el ámbito de la aplicación práctica, y sostiene que "la IA cuántica se refiere a la integración de modelos y algoritmos que permiten a las computadoras cuánticas ejecutar tareas de aprendizaje automático, ofreciendo un rendimiento que no puede ser igualado por las computadoras tradicionales" (Jordán *et al.*, 2019, p. 2). Esta definición pone de relieve no solo el carácter teórico de la IA cuántica, sino también su inminente aplicabilidad en diversos sectores, incluyendo la biomedicina, la ciencia de materiales y la optimización de sistemas.

Al considerar estas definiciones, se puede decir que la IA cuántica emerge no solo como una superposición de dos disciplinas, sino como un nuevo paradigma que transforma la forma en que abordamos el procesamiento de información. La capacidad de realizar cálculos a velocidades sin precedentes y de extraer información significativa de

datos complejos que posicionan a la IA cuántica como una herramienta fundamental para la innovación tecnológica del futuro.

Origen de la inteligencia artificial cuántica

El origen de la IA cuántica se remonta a los avances en computación cuántica que comenzaron a tomar forma en la década de 1980 con el trabajo de Richard Feynman y David Deutsch, quienes propusieron la idea de utilizar sistemas cuánticos para realizar cálculos complejos que exceden las capacidades de las computadoras clásicas. Sin embargo, fue en la década del 2000 cuando se empezó a desarrollar la unión entre la IA y la computación cuántica. De acuerdo a lo señalado por Arute *et al.*, (2019).

La IA cuántica busca combinar las técnicas y algoritmos de aprendizaje automático con la computación cuántica, lo que permite a las máquinas mejorar su rendimiento a través del aprendizaje en datos de alta dimensionalidad, algo que se considera impracticable con las herramientas clásicas. (p. 506).

A continuación, se presentan algunas referencias destacadas en el campo de la IA cuántica. Cada autor ha realizado contribuciones significativas y ha abordado el concepto de IA cuántica desde diferentes perspectivas a lo largo de estas últimas décadas.

Seth Lloyd (2007), es considerado uno de los pioneros en la unión de la computación cuántica y la IA. En su artículo: *Quantum information and the future of quantum computing*, Lloyd discute cómo la computación cuántica puede ser utilizada en la IA y los aspectos que deben considerarse al integrar estos campos.

Mohsen Ghaffari, Saeed Jafari, y Khosrow Monajemi (2016) presentaron un punto de vista práctico para la integración de algoritmos cuánticos y técnicas de aprendizaje automático. En su trabajo *Quantum neural networks: a survey*, analizan cómo las redes neuronales pueden beneficiarse de las propiedades únicas de la computación cuántica.

Kristan Temme, Michael Schwartz, y John Martinis (2017), discutieron en su trabajo titulado: *Error mitigation for short quantum programs*, la importancia de mitigar errores en la computación cuántica para hacerla práctica para aplicaciones en IA. Esta mitigación es esencial para que los algoritmos cuánticos sean útiles en el contexto de la IA.

Chakrabarti y Kothari (2018) realizaron una revisión exhaustiva sobre los algoritmos de *machine learning* cuántico, discutiendo sus aplicaciones y el impacto potente en la inteligencia artificial. En su artículo titulado: *Quantum machine learning: a review*", posicionan la IA cuántica como un área de gran potencial de desarrollo y aplicación.

Abhay Mehta *et al.*, (2019), exploraron la fusión de la IA y la computación cuántica en su artículo titulado: *Quantum-inspired approaches to AI: a survey.*, el cual propone una serie de enfoques inspirados en efectos cuánticos que pueden aplicarse a problemas de aprendizaje automático, resaltando las interrelaciones entre ambos campos.

Inteligencia artificial clásica, sus logros y limitaciones

La IA clásica, que se ha desarrollado desde mediados del siglo XX, se basa en la aplicación de algoritmos y sistemas computacionales que emulan ciertos aspectos de la inteligencia humana. A lo largo de su evolución, esta rama de la informática ha logrado avances significativos en diversos campos, aunque también enfrenta limitaciones inherentes que limitan su capacidad para igualar o superar la inteligencia humana en su totalidad.

• Logros de la inteligencia artificial clásica

Uno de los logros más destacados de la IA clásica es el desarrollo de sistemas de procesamiento de lenguaje natural (PLN). Inicialmente, estos sistemas se enfocaron en proporcionar traducciones automáticas y análisis de texto, destacándose herramientas como ELIZA en los años 60, uno de los primeros *Chatbots* que imitaba conversaciones humanas. Con el tiempo, tecnologías más avanzadas, como Google Translate y asistentes virtuales como Siri y

Alexa, han sido desarrolladas, mostrando la capacidad de la IA para comprender y procesar el lenguaje humano con relativa eficacia (Kumar *et al.*, 2020, p. 357).

Otro hito importante en la IA clásica es el desarrollo de algoritmos de aprendizaje automático que permiten a las máquinas aprender de datos sin ser programadas explícitamente para tareas específicas. Los algoritmos de redes neuronales, en particular, han demostrado ser poderosos en la clasificación y reconocimiento de patrones en grandes conjuntos de datos. Un ejemplo notable es la red neuronal convolucional de AlexNet, que logró una mejora significativa en la precisión de la clasificación de imágenes en el evento ImageNet de 2012 (Krizhevsky *et al.*, 2012, p. 109).

• Limitaciones de la inteligencia artificial clásica

A pesar de estos logros, la IA clásica presenta limitaciones notables. Una de las críticas más comunes se refiere a su dependencia de grandes cantidades de datos etiquetados para entrenar modelos. Este requisito no solo es costoso y laborioso, sino que también presenta problemas inherentes de sesgo, ya que los modelos pueden perpetuar y exacerbar prejuicios presentes en los datos de entrenamiento (Barocas y Selbst, 2016, p. 693). Por ejemplo, se han documentado casos en los que sistemas de reclutamiento automatizados han discriminado a ciertos grupos demográficos basándose en perfiles históricos sesgados.

Además, la IA clásica, en su mayoría, opera basado en enfoques de "caja negra", donde los procesos utilizados para llegar a decisiones no son transparentes. Esto plantea problemas significativos en aplicaciones críticas como la medicina y la justicia penal, donde la interpretabilidad de los resultados es decisivos (Lipton, 2018, p. 37). Así pues, La falta de explicabilidad puede llevar a decisiones peligrosas y no éticas que socavan la confianza en estas tecnologías.

Del mismo modo, los sistemas de IA clásica tienden a tener dificultades al enfrentar situaciones nuevas o no contempladas durante el entrenamiento. A diferencia de la flexibilidad del razonamiento humano, donde se pueden aplicar habilidades transferibles, los sistemas de IA clásica



a menudo se ven limitados a las tareas específicas para las que fueron entrenados, lo que limita su aplicabilidad en entornos requeridos.

Diferencias entre computación clásica y cuántica

La computación clásica y cuántica representa paradigmas fundamentales en la informática, cada uno con sus propias teorías, principios y aplicaciones. Mientras que la computación clásica se basa en la manipulación de bits, la computación cuántica introduce el concepto de *qubits*, lo que permite una serie de diferencias significativas en términos de capacidad de procesamiento y estructura de datos.

En la computación clásica, la información se representa mediante bits, que pueden tener un valor de 0 o 1. Esta representación binaria permite a las computadoras realizar operaciones a través de circuitos electrónicos tradicionales. En contraste, los *qubits* de la computación cuántica pueden existir en una superposición de estados, es decir, pueden representar simultáneamente 0 y 1. (Chuang y Nielsen, 2010, p. 25). De esta manera, esta propiedad de superposición permite que las computadoras cuánticas realicen múltiples cálculos a la vez, lo que potencialmente aumenta su capacidad de procesamiento.

Un concepto fundamental en la computación cuántica es el entrelazamiento, donde los *qubits* interactúan de tal manera que el estado de un qubit no puede describirse independientemente del estado de otro. Esta propiedad permite que los *qubits* estén correlacionados incluso a grandes distancias, lo que facilita la transmisión de información de manera más eficiente. En la computación clásica, esta interacción no es posible, ya que los bits son independientes entre sí, lo que limita las posibilidades de optimización en la transmisión de datos.

La complejidad computacional, es otro aspecto donde la computación cuántica y clásica difiere significativamente. Hay problemas específicos, como el factoraje de números enteros, que se consideran improbables para las computadoras clásicas, pero que las computadoras cuánticas pueden resolver en tiempos polinómicos utilizando el

algoritmo de Shor (Shor, 1997, p. 124). Esto tiene profundas implicaciones para la criptografía y la seguridad de la información, ya que muchos sistemas de cifrado convencionales dependen de la dificultad de estos problemas. A pesar de su potencial, la computación cuántica está todavía en etapas experimentales y enfrenta desafíos significativos, como la decoherencia y la implementación de *qubits* estables.

La revolución de la inteligencia artificial cuántica

La IA cuántica representa una convergencia de dos de las áreas más prometedoras y transformadoras de la ciencia y la tecnología contemporánea: la IA y la computación cuántica. Esta unión no solo plantea una revolución en nuestra comprensión de la computación, sino que también ofrece nuevas metodologías y enfoques para resolver problemas complejos que son inverosímiles para las computadoras clásicas.

El potencial de la IA cuántica radica en la capacidad de los *qubits* para representar múltiples estados de manera simultánea, un fenómeno que se traduce en un procesamiento de información exponencialmente más rápido que el que pueden ofrecer las computadoras clásicas (Chuang y Nielsen, 2010, p. 25). Esto sugiere que tareas que implican la manipulación de grandes volúmenes de datos, como la búsqueda en bases de datos y la modelación de sistemas complejos, pueden beneficiarse enormemente de la inteligencia artificial cuántica, facilitando un avance importantes en campos tan variados como la biomedicina, la optimización de sistemas, entre otros campos de la ciencia y la tecnología.

Una de las manifestaciones más reveladoras del potencial de la IA cuántica es su capacidad para procesar datos en una escala y velocidad que escapan a las capacidades de los sistemas clásicos. Por ejemplo, el uso de algoritmos cuánticos, como el algoritmo de Grover, permite acelerar la búsqueda en listas no estructuradas con una complejidad temporal cuadrática (Grover, 1996, p. 212). Adicionalmente, la naturaleza de superposición y entrelazado de los *qubits* permite la ejecución de múltiples cálculos



los en paralelo, lo que abre la puerta a nuevas formas de procesamiento de datos que pueden revolucionar la manera en que se gestiona la información en campos como la investigación científica.

Avances y aplicaciones en la inteligencia artificial cuántica

La IA cuántica está permitiendo la creación de modelos de aprendizaje automático que son inherentemente más eficientes. Un enfoque significativo es el uso de algoritmos cuánticos para la clasificación de datos, donde se ha demostrado que los clasificadores cuánticos, como el modelo cuántico de soporte vectorial, superan a sus equivalentes clásicos en términos de precisión y velocidad (Rebentrost *et al.*, 2014, p. 3).

Asimismo, la computación cuántica puede hacer posibles nuevas arquitecturas de redes neuronales, como las redes neuronales cuánticas que explotan la interferencia cuántica para mejorar el rendimiento en tareas de reconocimiento y aprendizaje. Un caso específico de aplicación se puede observar en la simulación de moléculas para el desarrollo de fármacos, un campo donde las computadoras cuánticas pueden modelar sistemas complejos que las computadoras clásicas llevan años sin poder abordar de manera efectiva (Mitchell *et al.*, 2019, p. 29).

Proyectos actuales y colaboraciones entre universidades y empresas

El panorama de la IA cuántica está siendo impulsado por una serie de iniciativas y colaboraciones entre universidades, instituciones de investigación y empresas tecnológicas. Proyectos como el *Canadian Institute for Advanced Research* (CIFAR) quienes se están enfocándose en la exploración de la IA cuántica y sus aplicaciones en diversas disciplinas (CIFAR, 2018). Además, empresas como IBM, Google y D-Wave están desarrollando plataformas cuánticas y algoritmos que permiten a investigadores y desarrolladores explorar y aplicar estas tecnologías en el aprendizaje automático.

Asimismo, colaboraciones importantes, como el programa IBM *Quantum Network*, han conectado a universidades y empresas en un esfuerzo por avanzar en la investigación de la IA cuántica y su implementación práctica. Este tipo de asociación no solo acelera el desarrollo de aplicaciones de inteligencia artificial cuántica, sino que también impulsa un intercambio de ideas y conocimientos que es importante para superar los desafíos técnicos asociados con la computación cuántica.

El Futuro de la inteligencia artificial cuántica

La revolución de la IA cuántica promete transformar la forma en que abordamos problemas complejos en diversos sectores. Aunque enfrenta desafíos técnicos y metodológicos, su potencial para mejorar la eficiencia y la eficacia en el aprendizaje automático y la optimización es indiscutible. El futuro de la IA cuántica dependerá de la superación de estos desafíos, así como del avance en la construcción de *qubits* estables y escalables, lo que permitirá la materialización del potencial transformador de esta tecnología emergente.

Las proyecciones para las próximas décadas apuntan a un avance significativo en la aplicabilidad de la IA cuántica, especialmente en áreas que requieren el manejo de grandes volúmenes de datos y cálculos complejos. Uno de los pronósticos más destacados es la mejora en la optimización y la simulación de sistemas, lo que permitirá abordar desafíos en campos como la farmacología, la investigación científica y el desarrollo de nuevas tecnologías. (Benedetti *et al.*, 2021, p. 57).

Además, se espera que la IA cuántica promueva el desarrollo de nuevas arquitecturas de aprendizaje automático que pueden aprovechar la interferencia y otros efectos cuánticos para mejorar el rendimiento en tareas de clasificación y predicción. Investigaciones recientes sugieren que la IA cuántica podría superar las limitaciones impuestas por el "aumento de la dimensión" en los métodos clásicos. (Harrow *et al.*, 2009, p. 322).



Asimismo, la inteligencia cuántica dependerá de varios factores, entre los que destacan la infraestructura tecnológica, la formación de talento y la colaboración entre entidades académicas y empresariales. A medida que las plataformas de computación cuántica se vuelven más accesibles, se espera que instituciones educativas y empresas comiencen a integrar la IA cuántica en sus operaciones. Programas como el IBM *Quantum Experience* y Google *Quantum AI* están facilitando el acceso a herramientas cuánticas para investigadores y desarrolladores, lo que profundiza la comprensión y la aplicación de estas tecnologías en diferentes sectores.

El desarrollo de marcos normativos y éticos relacionados con la IA cuántica también será fundamental para su integración en la sociedad. A medida que avancen las aplicaciones cuánticas, será crítico garantizar que se utilicen de manera responsable y que se manejen adecuadamente los riesgos asociados con su implementación (Job *et al.*, 2020, p. 145). La creación de directrices claras podría ayudar a promover un entorno en el que la adopción de la inteligencia artificial cuántica no solo sea factible, sino también sustentable y beneficioso para la sociedad en su conjunto.

Metodología

Este estudio se realizó mediante una investigación cualitativa, la cual es un enfoque que busca comprender fenómenos sociales a través de datos no numéricos, como las entrevistas y las observaciones. Se centraliza en las experiencias y percepciones de las personas para ofrecer una visión más enfocada y contextualizada de la realidad, a diferencia de la investigación cuantitativa, que se basa en mediciones numéricas. A juicio de Denzin y Lincoln (2011), "la investigación cualitativa es un enfoque que se da en contextos naturales, es interpretativa y está orientada a comprender los fenómenos estudiados desde su propio marco de referencia" (p. 3).

Tipo de estudio

Asimismo, esta investigación se distingue por ser un estudio documental, dado que se fundamentó en la reco-

pilación y revisión profunda de fuentes documentales pertinentes. Para la elaboración del presente artículo, los documentos fueron seleccionados basándose en su relevancia y actualidad en el campo de la IA clásica y cuántica. Donde se llevó a cabo una exhaustiva indagación en la literatura científica, en trabajos de investigación académica, tesis y recursos digitales, relacionados con la temática abordada en esta investigación con el propósito de delinear las bases teóricas fundamentales que sustentan el tema en cuestión. Según Hernández, *et al.*, (2014), señalan que "la investigación documental se caracteriza por su fundamentación en fuentes documentales, con el propósito de justificar afirmaciones y obtener un panorama más claro de la realidad estudiada" (p. 212).

Técnica de análisis

La técnica de análisis que se utilizó para el desarrollo de este artículo fue la revisión documental, la cual consiste en el análisis crítico y sistemático de documentos previamente elaborados, con el propósito de extraer información pertinente y relevante. Esta técnica permite al investigador evaluar y contextualizar los hallazgos anteriores, identificando patrones, discrepancias y áreas no exploradas en la literatura existente. Como lo señala, Arias (2012, p. 27), "la revisión documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas".

Resultados

En esta sección, se presentan los principales resultados obtenidos de la investigación sobre la revolución de la IA. De lo clásico a lo cuántico, el cual ha revelado varios hallazgos clave que destacan la capacidad transformadora de esta tecnología como se muestran a continuación:

1. Mejoras en la eficiencia de los algoritmos: uno de los hallazgos más significativos fue la identificación de que los algoritmos cuánticos pueden ofrecer mejoras cuantificables en la eficiencia de procesamiento en comparación



con sus homólogos clásicos. Por ejemplo, el algoritmo de Grover (1996, p. 212) demuestra una velocidad cuadráticamente superior en la búsqueda en bases de datos no estructuradas, lo que implica que la IA cuántica puede optimizar tareas de búsqueda y consulta de datos. Esta capacidad permite aplicaciones que requieren el análisis de grandes volúmenes de datos, como la detección de fraudes y la investigación científica.

2. Modelos de aprendizaje automático cuántico: se evidenció que los circuitos cuánticos parametrizados pueden funcionar como potentes modelos de aprendizaje automático. Según Benedetti *et al.*, (2021: p. 10), estos modelos permiten aprender patrones complejos en conjuntos de datos y logran niveles de precisión que pueden superar a los algoritmos clásicos en determinadas tareas. Esta afirmación sugiere que la IA cuántica podría revolucionar áreas como la visión por computadora y el procesamiento del lenguaje natural.

3. Superación de limitaciones de datos: la investigación también reveló que la IA cuántica podría ayudar a superar las limitaciones de sobre ajuste que a menudo afectan a los modelos clásicos de aprendizaje automático. Como se indicó en el trabajo de Hangleiter *et al.*, (2020, p. 5), los modelos cuánticos son menos propensos a quedar atrapados en configuraciones erróneas debido a su capacidad de explorar múltiples configuraciones simultáneamente gracias a la superposición cuántica. Esto sugiere un camino hacia modelos más fuertes y generalizables en diversas aplicaciones.

4. Desafíos de la decoherencia: a pesar del potencial de la IA cuántica, se identificaron dificultades inherentes al ciclo de vida de las computadoras cuánticas, particularmente en relación con la decoherencia cuántica. Preskill (2018, p. 5) menciona que esta pérdida de coherencia cuántica debido a interacciones con el entorno, puede comprometer la estabilidad y precisión de los sistemas cuánticos, lo que supone un riesgo notable para la implementación de la IA cuántica en aplicaciones prácticas. Este desafío resalta la necesidad de investigar métodos de corrección de errores cuánticos.

5. Los estudios de Macías (2021) en su obra *La tecnología y la Inteligencia Artificial en el sistema educativo* y de Moreno (2023) en IA cuántica, abordan la temática de esta desde perspectivas complementarias pero distintas. Macías se centra en la aplicación de la IA en el ámbito educativo, subrayando cómo estas tecnologías pueden personalizar el aprendizaje y mejorar los resultados académicos. Por otro lado, Moreno se sumerge en las posibilidades que ofrece la IA cuántica, explorando su potencial para resolver problemas complejos que están más allá de las capacidades de la IA clásica. A pesar de sus diferencias, ambos autores coinciden en que la IA, tanto en sus formas clásicas como cuánticas, tiene el poder de transformar significativamente nuestra sociedad, aunque sus aplicaciones y enfoques sean diferentes.

Conclusión

Con la elaboración de esta investigación se ha demostrado que la IA cuántica constituye un campo emergente con la capacidad de transformar radicalmente la manera en que se procesan y analizan los datos. No obstante, para realizar completamente este ímpetu, es imperativo abordar los desafíos y promover la colaboración entre disciplinas. Así, se sentarán las bases para una innovadora era de IA que será capaz de enfrentar los problemas más complejos y relevantes de nuestra sociedad contemporánea.

Asimismo, la integración de la computación cuántica en la IA no solo es viable, sino que también podría marcar un antes y un después en el campo científico y tecnológico. Sin embargo, se enfatiza la necesidad de seguir investigando en la implementación práctica y la escalabilidad de estas tecnologías para que su potencial se materialice completamente, abriendo un nuevo horizonte para el desarrollo de soluciones innovadoras en las diferentes disciplinas de la ciencia, la tecnología y la investigación.

De este modo, el futuro de la IA cuántica promete revolucionar la forma en que abordamos la resolución de problemas en múltiples dominios. A medida que avanzan la investigación y el desarrollo, se anticipa que la IA cuántica



abrirá nuevas oportunidades para la optimización y simulación compleja. Sin embargo, su adopción en la próxima década dependerá de la superación de desafíos técnicos, la creación de estructuras normativas y la formación de una nueva generación de investigadores y profesionales. La convergencia de estos elementos permitirá que la IA cuántica no solo sea una promesa teórica, sino una realidad práctica que transforme diversos sectores de la sociedad.

La revolución de la IA cuántica promete redefinir la forma en que se abordan problemas complejos de procesamiento y aprendizaje a través de una combinación de avances en computación cuántica y técnicas de IA. A medida que la investigación y la colaboración entre el mundo académico y la industria continúan evolucionando, el potencial de la IA cuántica se expandirá, ofreciendo soluciones innovadoras y eficientes que podrían tener un impacto duradero en diversos campos.

Referencias

Arias, F. (2012). *Proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Editorial Pontificia Episteme. 6^{ta} edición. Caracas, Venezuela.

Arute, F.; Arya, K.; Babbush, R.; Bacon, J.; Bardin, J.; Bar-ends, R. y Martinis, J. (2019). *Quantum supremacy using a programmable superconducting processor*. *Nature*. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31645734/>.

Babbush, R., et al. (2018). *Encoding quantum operators in quanticircuits*. *Physical Review*. https://www.researchgate.net/publication/328469422_Encoding_Electronic_spectra_in_Quantum_Circuits.

Benedetti, M., Lloyd, S., & Florentine, M. (2021). *Parameterized quantum circuits as machine learning models*. *Quantum Science and Technology*, 6(1), 1-15.

Chuang, I. y Nielsen, M. (2010). *Quantum Computation and Quantum Information*. Disponible en: <https://profm-cruz.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/08/quantum-computation-and-quantum-information-nielsen-chuang.pdf>.

CIFAR. (2018). *Program on Quantum Information Science*. Disponible en: <https://cifar.ca/researchprograms/quantum-information-science/>.

Denzin, N. y Lincoln, Y. (2021). *The SAGE Handbook of Qualitative Research* (4th Ed.). Sage Publications.

Eket, A.; Ignacio, C.; Lamata, L.; Minguez, J.; Lenaham, B. y Barg, S. (2023). *Quantum Computing e Inteligencia Artificial: la revolución silenciosa*. Disponible en: <https://www.fundacionbankinter.org/wp-content/uploads/2023/03/Informe-FTF-The-Silent-Revolution-of-Quantum-Computing-AI.pdf>.

Farhi, E. y Harrow, A. (2016). *Quantum Algorithms for Fixed Qubit Architectures*. *arXiv preprint arXiv:1602.07674*.

Grover, L. (1996). *A fast quantum mechanical algorithm for database search*. *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 212-219.

Hangleiter, D.; Kottmann, J. y Miller, D. (2020). *Quantum models of neural networks*. *Machine Learning: Science and Technology*, 1(1), 25. doi:10.1088/2632-2153/ab6e8b.

Harrow, A. (2009). *Quantum algorithms for fixed Qubit architectures*. *Nature*, (7252), 464-468.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGraw-Hill. ISBN: 978-1-4562-6096-5.

Job, J. (2020). *Ethical implications of quantum computing: Risks and challenges*. *Frontiers in Quantum Computing*.

Jordan, S. P., et al. (2019). *Quantum algorithms for fixed Qubit Architectures*. *Nature Reviews Physics*, 1(9), 514-527. Disponible en: <https://arxiv.labs.arxiv.org/html/1703.06199>.

Krizhevsky, A., Sutskever, I. y Hinton, G. (2012). *ImageNet classification with deep convolutional neural networks*. *Advances in Neural Information Processing Systems*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/267960550_ImageNet_Classification_with_Deep_Convolutional_Neural_Networks.



Kumar, A., Gupta, R. y Ghosh, P. (2020). *Natural Language Processing: A Comprehensive Review*. *Journal of Computer Science and Technology*, 35(3), 357-388.

Lloyd, S. (2007). *Quantum Information and the Future of Quantum Computing*. *Nature Physics*, 3(12), 752-754.

Macías, Y. (2021). La tecnología y la Inteligencia Artificial en el sistema educativo. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/481436033.pdf>.

McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N. y Shannon, C. (1955). *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. Disponible en: <http://jmc.stanford.edu/articles/dartmouth/dartmouth.pdf>. EE.UU.

Moreno, F. (2023). *Inteligencia artificial cuántica*. Blog.

Preskill, J. (2018). *Quantum Computing in the NISQ era and beyond*. Disponible en: <https://quantum-journal.org/papers/q-2018-08-06-79/>.

Rebentrost, P., et al. (2014). *Quantum machine learning with quantum neural networks*. *Physical Review Letters*, 113(14). Disponible en: [https://www.google.com/search?q=Rebentrost%2C+P.%2C+et+al.+\(2014\).+Quantum+machine+learning+with+quantum+neural+networks.+Physical](https://www.google.com/search?q=Rebentrost%2C+P.%2C+et+al.+(2014).+Quantum+machine+learning+with+quantum+neural+networks.+Physical).

Sharma, G., Yadav, A. y Chopra, R. (2020). *Artificial intelligence and effective governance: A review, critique and research agenda*. *Sustainable Futures*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666188819300048sec0001>.

Shor, P. (1997). *Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer*. *SIAM Journal on Computing*, 26(5), 1484-1509.

Shulman, J. (2023). *Artificial Intelligence in Education: Supporting the Learning Experience*. *Educational Technology Research and Development*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/369288544_Artificial_intelligence_in_edution.

Silver, D., Huang, A., Maddison, J., Guez, A. (2016). *Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search*. *Nature*. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nature16961>.

Turing, A. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. *Mind*, 59(236). Disponible en: <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>.

