

Computación Cuántica

Blockchain y Computación Cuántica



tech

CONTENIDO

1. Objetivos

2. Introducción computación cuántica

3. Panorama de la industria de la computación cuántica

4. Usos de la computación cuántica

Modelado de flujo de aire de un ala de avión
Doble hélice de ADN
Sector agrícola

5. Construyendo un ordenador cuántico

Plataforma cuántica
Lenguaje de programación de computación cuántica

6. Computación cuántica e inteligencia artificial

Un vistazo al futuro con la inteligencia artificial cuántica

7. El futuro de las computadoras cuánticas

8. Conclusiones

9. Bibliografía

OBJETIVO

Seguramente el término computación cuántica resulta un poco lejano o es esta la primera vez que se sabe de él, ya que no suele utilizarse muy a menudo. Sin embargo, se trata de algo que cada día se acerca más a una realidad y puede empezar a impactar en nuestras vidas sin darnos cuenta, al igual que lo hace la inteligencia artificial. En este tema se expondrá qué es la computación cuántica, sus usos, evolución y futuro.

INTRODUCCIÓN COMPUTACIÓN CUÁNTICA

Hasta hace unos pocos años la computación cuántica ha podido empezar a utilizarse de manera pública. Anteriormente, tan sólo estaba disponible en entornos científicos y centros de investigación, pero gracias a compañías como *IBM* o *Microsoft* se están ofreciendo ciertas funcionalidades de los ordenadores cuánticos a disposición de empresas y particulares. En este capítulo se darán los conceptos y herramientas necesarios para adentrarse en esta apasionante tecnología.

Es posible afirmar que la computación cuántica surge cuando se empieza a encontrar una limitación importante en la computación tradicional. En el momento en que la capacidad de procesamiento de los microchips (de los súper ordenadores) llega a su límite en la computación clásica, es cuando surge la necesidad de encontrar nuevas soluciones. Será precisamente la computación cuántica la que aporte estas soluciones y rompa limitaciones. Por otra parte, el origen de la computación cuántica se puede situar en el año 1981, de la mano de Paul Benioff, quien trató de demostrar que era posible aplicar las leyes cuánticas a la computación. Para ello, parte de otros conceptos matemáticos y físicos que ya habían planteado muchos años antes algunos científicos como Einstein o Schrödinger (y su famoso gato).

Su funcionamiento básico es aparentemente sencillo de entender: mientras que en computación digital los bits solo pueden alcanzar dos valores que son 0 y 1; en el caso de la computación cuántica ya no se trabaja con bits sino con cúbits o qubits (del inglés *quantum bits*), de forma que una misma partícula puede adoptar los valores 0 o 1, o, 0 y 1 al mismo tiempo. De esta forma se pueden hacer y procesar dos operaciones o más a la vez. A su vez, el número de operaciones posibles con cúbits es exponencial, y por lo tanto, la capacidad de procesar información y realizar operaciones también se vuelve exponencial. En orden a lo anterior, si en computación clásica existen problemas intratables, para la computación cuántica estos mismos problemas se convierten en algo tratable.

En esta imagen (Fig. 1) se pueden ver las diferencias entre un Bit y un Qubit:

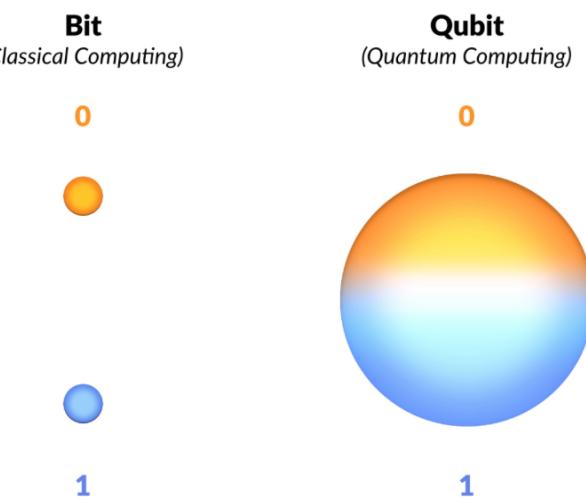


Figura 1. Diferencias Qubit vs Bit . The computational power of Quantum Computers: an intuitive guide.

El entrelazamiento cuántico significa que los cúbits en superposición pueden correlacionarse entre sí, es decir, el estado de uno puede depender y afectar el estado de otro, aunque se encuentren a millones de kilómetros de distancia entre sí. Cuando se combinan estos dos comportamientos de los cúbits, estos comienzan a actuar como interruptores más sofisticados. Esto permite a la computadora funcionar de manera que sea posible resolver problemas más complejos, aquellos que no se pueden manejar con las computadoras actuales.

Es necesario volver por un momento al concepto inicial. Para aproximarse a la computación cuántica es necesario entender que la naturaleza humana, el cerebro y en definitiva, la materia y el Universo se explica a nivel subatómico, por medio de moléculas y átomos. La definición en la que se han movido actualmente para darle una explicación a la realidad ha sido por medio de matemáticas, física, y, computación clásica y tradicional. Este enfoque ha permitido darle sentido y lógica desde la razón (limitada por la naturaleza humana), pero el mundo que se ve y se puede comprender no es el que realmente define las reglas fundamentales de la existencia humana, y por lo tanto, se encuentran grandes limitaciones para avanzar en determinadas áreas de la ciencia, química y la tecnología.

Ahora bien, dejando a un lado las matemáticas y la física cuántica, se hará centralidad en las aplicaciones que dan sentido al uso de la computación cuántica. Grandes compañías como *Google*, *IBM* o *Microsoft* pretenden revolucionar la informática tal y como se conoce, permitiendo resolver problemas complejos que habrían sido imposibles en las computadoras clásicas. Antes de avanzar, es importante aclarar que no en todos los contextos de la informática puede utilizarse la computación cuántica. Difícilmente se verán computadoras cuánticas en un móvil o en hogares, debido a los requisitos para fabricar este tipo de ordenadores, tales como: las bajas temperaturas y componentes difíciles de conseguir (al menos por el momento).

Es de vital importancia advertir que aproximarse a la tecnología cuántica supone entender las leyes físicas y las reglas matemáticas de una manera radicalmente distinta. Si se intenta comprender y darle explicación con conocimientos propios y lógica, será imposible entenderla y sacar partido a todo su potencial. Esto sucede porque es complicado entender los conceptos cuánticos, incluso, los físicos teóricos, ya que tienen algunas veces problemas para poderlos explicar. El motivo es que la física cuántica trata de explicar el funcionamiento de los átomos, electrones, neutrones y otro tipo de partículas subatómicas. Estas se rigen por principios y leyes muy diferentes a los conocidos y son los que explican cómo se produce la fusión de energía en el núcleo del Sol o por qué las plantas son capaces de convertir energía solar en oxígeno.

En este orden de ideas, es posible afirmar que la teoría que da sentido al mundo cuántico (existe y puede estudiarse), es capaz de explicar las reglas de funcionamiento subatómico. Pero llevarlo a la práctica, ser capaces de crear un ordenador cuántico y utilizarlo para necesidades reales de las empresas o sociedad, es otra cosa muy diferente.

Continuando con la idea anterior, a nivel cuántico, la ciencia ficción parece convertirse en realidad. Las partículas pueden viajar hacia atrás o hacia adelante en el tiempo y teletransportarse entre dos posiciones que se encuentren a miles de kilómetros. Los científicos informáticos trabajan para construir computadoras que podrían ser millones de veces más eficientes que cualquier otro ordenador que esté disponible hoy en día. Se están invirtiendo grandes cantidades de recursos y dinero para desarrollar un ordenador cuántico y empresas como Google, IBM y Microsoft han comenzado una carrera cuántica contrarreloj.

Están compitiendo para ser los primeros en demostrar con éxito la supremacía cuántica y ofrecer a las empresas las herramientas necesarias con las que podrán realizar sus propios procesamientos de datos y aplicaciones.

PANORAMA DE LA INDUSTRIA DE LA COMPUTACIÓN CUÁNTICA

Solo hay una pequeña cantidad de empresas privadas en la industria que han podido recaudar al menos \$ 50 millones (y menos con más de \$ 100 millones), lo que sugiere que la aplicación comercial de computadoras cuánticas (tanto para hardware como para software), es incipiente en este momento, a pesar del bombo.

En enero de 2019, IBM presentó su primera computadora cuántica comercial en el *Consumer Electronics Show* (CES). El Q System One de IBM usa 20 qubits y tiene componentes tanto clásicos como cuánticos. El anuncio de la compañía dejó en claro que pasará tiempo antes de que las computadoras cuánticas comerciales puedan vencer a las máquinas clásicas actuales. Por su parte, otra serie de empresas de tecnología, incluidas Hewlett Packard, Intel y Microsoft, también están buscando la computación cuántica dentro de sus estrategias. A este respecto, en 2016 el gobierno de China lanzó el primer satélite cuántico del mundo en búsqueda de comunicaciones más seguras.

El ecosistema de las empresas que están construyendo tecnología cuántica (Fig. 2).

The quantum computing ecosystem

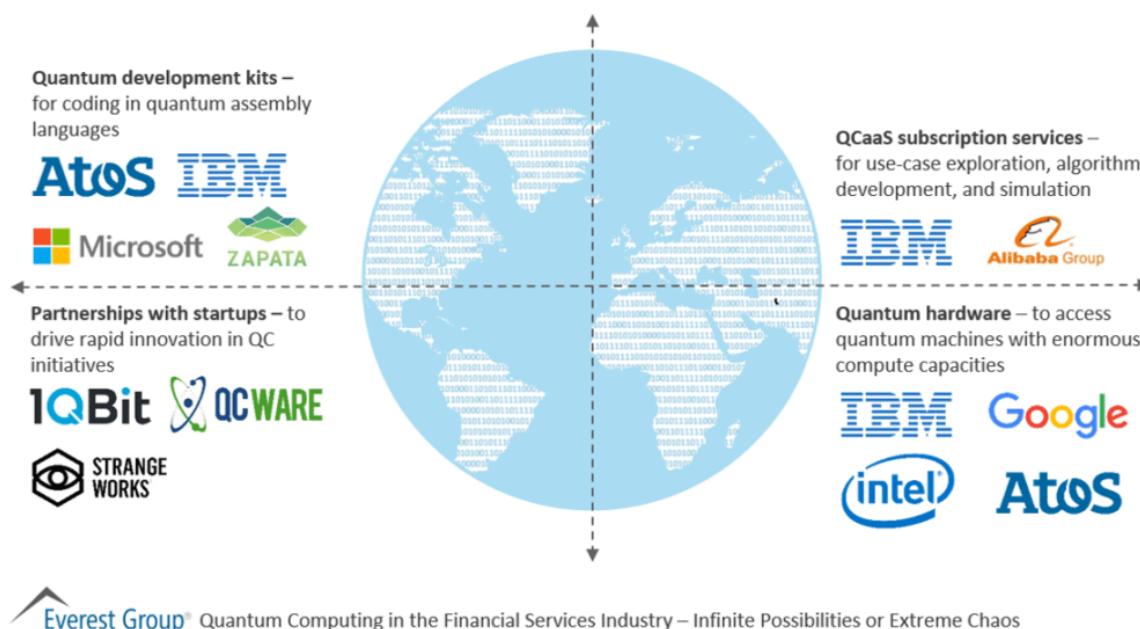


Figura 2. Ecosistema computación cuántica . QC companies of 2021: Guide based on 4 ecosystem maps.

USOS DE LA COMPUTACIÓN CUÁNTICA

¿Qué usos puede ofrecer la computación cuántica? Uno de los más claros es en medicina, ayudando a desarrollar más rápido nuevos medicamentos, ya que permite optimizar los fármacos y sus efectos secundarios mucho antes de que lleguen a las pruebas clínicas. Además, las posibilidades de simular moléculas cada vez más grandes y complejas permitirán importantes descubrimientos científicos en innumerables campos, desde la agricultura (encontrando formas más rápidas de crear fertilizantes), hasta crear rápidamente vacunas que paren pandemias.

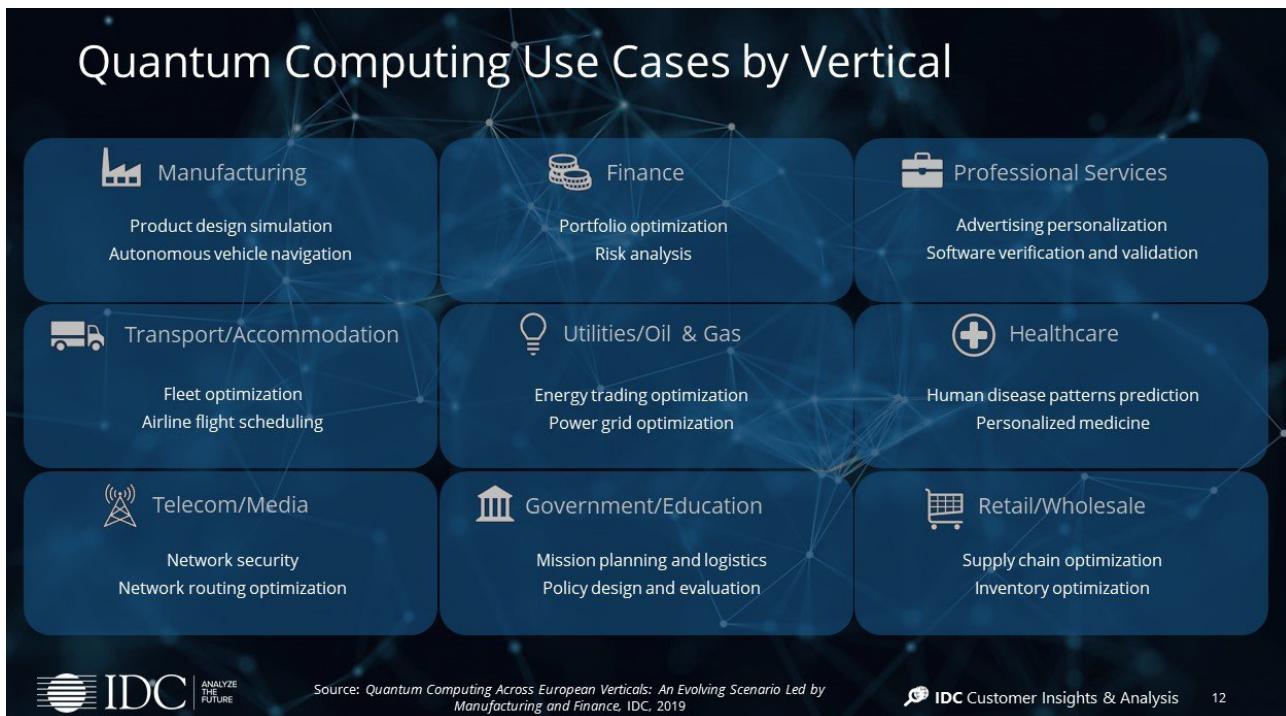


Figura 3. Crecimiento por región de la Industria 4.0.

Asimismo, en el ámbito industrial ayudará a buscar materiales más fuertes y livianos que puedan ayudar a construir mejores automóviles, edificios e incluso naves espaciales (ayudando a desplazarse más rápido por el Universo). Estos nuevos materiales dispondrán de capacidades superconductoras a temperatura ambiente, eliminando así la pérdida de energía debido al calor en las líneas de transmisión de larga distancia. Por ejemplo, Volkswagen realizó recientemente un experimento cuántico para optimizar los flujos de tráfico en la atestada ciudad de Beijing, China. El experimento se llevó a cabo en asociación con Google y D-Wave Systems. El algoritmo podría reducir con éxito el tráfico eligiendo la ruta ideal para cada vehículo, según Volkswagen.

Si se aplicara este experimento a escala global, se optimizarían todas las rutas de las aerolíneas, horarios del aeropuerto, datos meteorológicos, costes de combustible e información de los pasajeros, etc. permitiría obtener trayectos logísticos y de viajes más rentables. A continuación se presentarán otros ejemplos relevantes:

También será posible aumentar exponencialmente las velocidades de procesamiento de datos. Esto, con el fin de optimizar las rutas logísticas y de transporte, o ayudar a crear una inteligencia artificial más rápida y evolucionada.

En el siguiente gráfico (Figura 3) se pueden ver los diferentes sectores en los que la computación cuántica puede tener impacto:

Modelado de flujo de aire de un ala de avión

Airbus es otro ejemplo. Una corporación global aeroespacial y de defensa conocida por desarrollar aviones militares y comerciales. Estableció una unidad de computación cuántica en su planta de Newport, Reino Unido en 2015. Si bien actualmente los ingenieros tardan años en modelar el proceso del aire influyente sobre el ala de un avión, una computadora cuántica podría tomar solo unas pocas horas para modelar cada átomo de aire que fluye sobre un ala en todos los ángulos y velocidades posibles, para determinar el diseño de ala más óptimo o el más eficiente.

Doble hélice de ADN

Las computadoras cuánticas podrían ayudar a acelerar el proceso de comparar las interacciones y los efectos de diferentes medicamentos en los organismos. Además, la computación cuántica también podría conducir a una medicina verdaderamente personalizada, utilizando los avances en genómica para crear planes de tratamiento personalizados específicos para cada paciente.

La secuenciación del genoma crea una gran cantidad de datos, de modo que una representación de la hebra de ADN completa de una persona requiere una potencia computacional masiva y una gran capacidad de almacenamiento. En este sentido, las empresas están reduciendo rápidamente el costo y los recursos necesarios para secuenciar el genoma humano; sin embargo, una computadora cuántica teóricamente haría que la forma en que se secuencian los genomas sea más eficiente y más fácil de escalar globalmente.

Sector agrícola

Las computadoras cuánticas podrían ayudarnos a producir fertilizantes de manera más eficiente. Casi todos los fertilizantes están hechos de amoníaco. Por lo anterior, la capacidad de producir amoníaco (o un sustituto) de manera más eficiente significaría fertilizantes más baratos y producidos con menos energía. Además existiría un acceso más fácil a mejores fertilizantes, beneficiando al medio ambiente y ayudando a alimentar a la creciente población del planeta. A este respecto, cabe mencionar que se ha avanzado muy poco en la mejora del proceso para crear o reemplazar amoníaco. Ello se debe a que el número de posibles combinaciones de catalizadores para hacerlo es infinito. En consecuencia, usar las supercomputadoras actuales para probar digitalmente las combinaciones catalíticas adecuadas para producir amoníaco llevaría siglos resolvérselo.

En conclusión, se debe tener en cuenta que la producción de fertilizantes energéticamente eficientes es solo una de las muchas formas en que se pueden resolver grandes problemas, pues, se cuenta con la capacidad de simular con precisión el comportamiento molecular. Adicionalmente, existen problemas similares en el cambio climático, salud, ciencias de los materiales, energía y más, en donde la computación cuántica podría aportar bastante.

CONSTRUYENDO UN ORDENADOR CUÁNTICO

Ya se ha visto que el elemento fundamental para la computación cuántica es el *qubit* (bit cuántico). A diferencia del bit convencional, un *qubit* puede existir no solo en el estado cero o en uno, sino que también puede superponerse a ambas posibilidades. Además, en un procesador cuántico, puede haber más *qubits* en estado de superposición conectados entre ellos, hasta el punto de expresar un comportamiento de grupo, llamado entrelazamiento. Este estado de entrelazamiento es la base poder de computación cuántica, y la fuente de su potencial para resolver tareas complejas más allá de aquellas capacidades de las supercomputadoras tradicionales.

La mala noticia es que la información cuántica es muy sensible a las perturbaciones ambientales. Esta y otras peculiaridades cuánticas hacen necesaria la corrección de errores para obtener resultados útiles de cálculo. Las operaciones necesarias para la corrección de errores no solo son muy complejas, sino que también deben mantener la información cuántica sin cambios. Para las computadoras cuánticas, es aconsejable encontrar esquemas que protejan la información, incluso cuando los *qubits* individuales están dañados. Además, estos esquemas deben detectar y corregir errores sin medir directamente los *qubits*, porque las mediciones colapsan los *qubits*. En la siguiente imagen (Fig. 4) se pueden observar los componentes de una computadora cuántica:

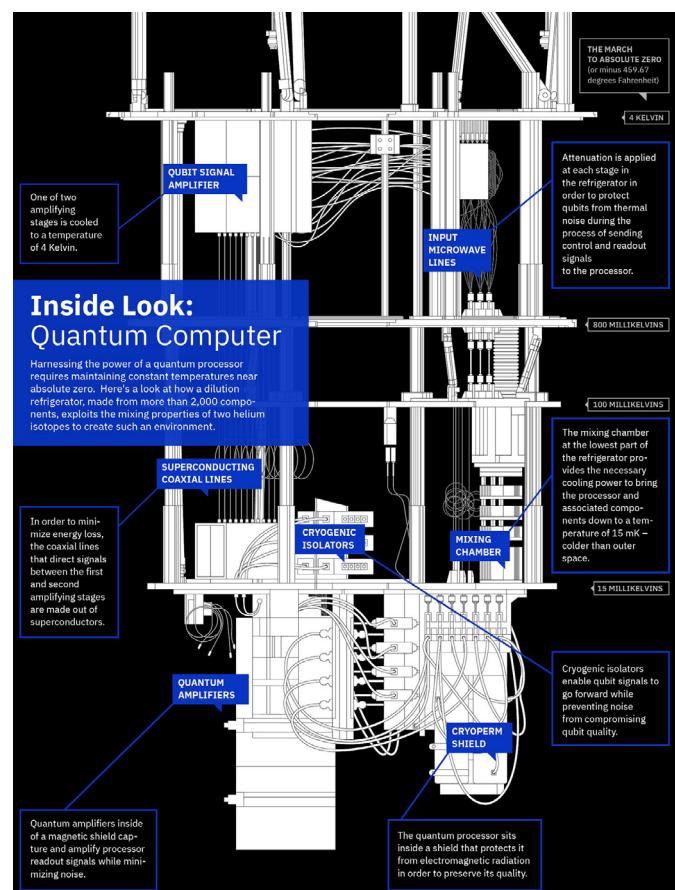


Figura 4. Componentes de una computadora cuántica. Making a Quantum Computer at Home.

La corrección de un error cuántico es fundamental para la mayoría de los proyectos de estas computadoras, ya que ayuda a preservar los frágiles estados de los que depende el cálculo cuántico. Sin embargo, una vez realizada una medición en los *qubits*, la condición de superposición colapsa y los *qubits* toman valores definitivos. La clave para el diseño del algoritmo cuántico es manipular el estado cuántico de los *qubits*. Esto, con el fin de que cuando la condición de superposición colapse, el resultado sea (con la mayor probabilidad) la solución a un problema.

En la misma línea, al hablar del control *qubit*, también se hace referencia al problema del sobrecalentamiento. Para evitar esto, las máquinas cuánticas se instalan normalmente en entornos refrigerados alrededor del cero absoluto. Por lo general, se necesitan cientos o miles de cables para conectar la computadora al enfriador y controlar un *qubit* a la vez: un enredo que evita la creación de sistemas cuánticos más grandes, consiste en cientos o miles de *qubits*, sistemas que podrían funcionar mucho más en complejos cálculos.

PLATAFORMA CUÁNTICA

Una computadora clásica consta de *hardware* y *software*, mientras que las computadoras cuánticas son máquinas híbridas que combinan características cuánticas con una computadora clásica que, esencialmente, administra el aparato cuántico. El potencial informático se encuentra en el procesador cuántico. Sin embargo, para ejecutar un procesador de estos, se necesita *hardware* clásico dedicado, que sea responsable de realizar operaciones matemáticas en *bits* cuánticos mediante el envío de pulsos electromagnéticos a los *qubits*.

Por lo anterior, gran parte de la atención de la industria se ha centrado en los procesadores cuánticos reales. Sin embargo, a medida que estas máquinas se vuelven más poderosas, es la parte clásica (el sistema de conversión de comandos digitales para su uso en el mundo analógico de la computación cuántica), la que se está convirtiendo en un cuello de botella.

Quantum Machines ha construido su propio sistema de pulso personalizado. Este puede manejar la manipulación de varios *qubit* sin dejar de ser independiente del procesador cuántico con el que interactúa. Los procesadores clásicos contienen tanto los datos como toda la lógica. Por ende, los procesadores cuánticos funcionan de manera muy diferente. Entonces, puede pensarse en un procesador cuántico como una gran memoria. Si desea aplicarle una operación lógica, debe enviar impulsos. Cada impulso que envíe al procesador cuántico será una operación lógica.

LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN DE COMPUTACIÓN CUÁNTICA

La interfaz fundamental del software es su ensamblador cuántico: *QUA*. Usando *QUA*, el lenguaje de programación de computación cuántica a nivel de pulso de *QM*, *QOP* traduce el código clásico a un lenguaje ensamblador cuántico que, luego se puede ejecutar en cualquier procesador cuántico. *IBM* ha desarrollado un lenguaje de programación denominado *qiskit*, con el que se pueden realizar simulaciones. En la siguiente imagen (Fig. 5) se ven algunos de estos ejemplos:

```
In [7]: from qiskit import QuantumRegister, ClassicalRegister, QuantumCircuit
from qiskit.tools.visualization import circuit_drawer
import numpy as np

qr = QuantumRegister(2)
cr = ClassicalRegister(2)
qp = QuantumCircuit(qr,cr)

qp.rx(np.pi/2,qr[0])
qp.cx(qr[0],qr[1])

qp.measure(qr,cr)

circuit_drawer(qp)
```

Out[7]:

```

q00 : |0> -- R_x(1.6) --> |
q01 : |0> --> |---+
                  +---+
c00 : 0 --> |-----+---+
c01 : 0 --> |-----+---+

```

Figura 5. Ejemplo de código qiskit de IBM. Qiskit – Write once, target multiple architectures.

Las simulaciones cuánticas exploran problemas específicos de la física cuántica que están más allá de la capacidad de los sistemas clásicos. En este sentido, simular un fenómeno cuántico complejo podría ser una de las aplicaciones más importantes de la computación cuántica. En particular, los simuladores cuánticos podrían usarse para simular el plegamiento de proteínas, uno de los problemas más difíciles de la bioquímica, pues, las proteínas mal plegadas pueden causar enfermedades como el Alzheimer y el Parkinson. Adicionalmente, los investigadores que prueban nuevos tratamientos deben aprender qué medicamentos causan modificaciones a cada proteína mediante el uso de modelos informáticos aleatorios.

Un mapeo realista de la secuencia de plegamiento de proteínas sería un gran avance científico y sanitario, ya que podría salvar muchas vidas. En concordancia, las computadoras cuánticas pueden ayudar a calcular la gran cantidad de posibles secuencias de plegamiento de proteínas para producir medicamentos más efectivos. En el futuro, las simulaciones cuánticas permitirán pruebas rápidas de fármacos de diseño, al tener en cuenta todas las combinaciones posibles de proteína a fármaco.

COMPUTACIÓN CUÁNTICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El uso de algoritmos cuánticos en técnicas de inteligencia artificial aumentará las capacidades de aprendizaje de las máquinas. En el campo de la seguridad informática, a medida que las computadoras se vuelven más inteligentes y rápidas, los códigos se vuelven más fáciles de decodificar: Es por ello que se necesita con urgencia un mecanismo de criptografía más avanzado, como el prometido por la criptografía cuántica.

Por su parte, la IA también puede contribuir con la creación de nuevos algoritmos que sean capaces de corregir errores cuánticos y lógicos, además del descubrimiento de aspectos aún no comprendidos en la Mecánica cuántica, como la creación de nuevas estructuras de hardware más eficientes. En un futuro lejano, las computadoras cuánticas universales podrían revolucionar el campo de la inteligencia artificial. La IA cuántica podría permitir un aprendizaje automático más rápido que el de las computadoras clásicas.

UN VISTAZO AL FUTURO CON LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL CUÁNTICA

El aprendizaje automático cuántico podría crear una inteligencia artificial que realice tareas complejas de manera más eficiente, muy similar al pensamiento humano. Por ejemplo, podría permitir que los robots humanoides tomen decisiones optimizadas y precisas en tiempo real y en circunstancias impredecibles. En este orden de ideas, el entrenamiento de la inteligencia artificial en computadoras cuánticas, podría potenciar con mucha más exactitud la visión por computadora, el reconocimiento de patrones, el reconocimiento de voz, la traducción automática y mucho más.

La inteligencia artificial cuántica es todavía muy reciente y le queda mucho por demostrar en el sector tecnológico. Sin embargo, varios startups han comenzado a avanzar en la investigación y el desarrollo en este campo como son: *Zapata Computing*, *Xanadu* y *Qindom*. Ya para terminar el presente apartado, cabe mencionar que el Santo Grial de la computación cuántica es el cuántico universal, que podría permitir cálculos exponencialmente más rápidos con más facilidad. Sin embargo, construir un dispositivo de este tipo termina planteando una serie de desafíos técnicos importantes, ya que las partículas cuánticas resultan ser bastante volubles y la menor interferencia de la luz o el sonido pueden crear errores en el proceso informático para conseguir los resultados buscados.

EL FUTURO DE LAS COMPUTADORAS CUÁNTICAS

Las computadoras cuánticas universales son las más poderosas y permiten una aplicación general en múltiples escenarios, pero también son las más difíciles de construir. Una computadora cuántica verdaderamente universal probablemente haría uso de más de 100,000 *qubits*; algunas estimaciones lo sitúan en 1 millón de *qubits*. Hoy en día, la mayor cantidad de *qubits* a los que se puede acceder está en 128 y subiendo.

La idea básica detrás de la computadora cuántica universal es que podría dirigir la máquina a cualquier cálculo enormemente complejo y obtener una solución rápida. Se han desarrollado al menos 50 algoritmos únicos para poder ejecutarse en una computadora cuántica universal. Podría decirse entonces, que a la computación cuántica todavía le queda mucho por demostrar, aún necesita asentar las bases para que se convierta en una tecnología que pueda ser utilizada con fines realistas y prácticos empleada por desarrolladores y empresas (como ya ocurre con la inteligencia artificial). Por otra parte, la computación cuántica es capaz de manejar grandes cantidades de datos en industrias como la farmacéutica, para potenciar los algoritmos con los que crear nuevos medicamentos y tratamientos genéticos, o la logística, para encontrar nuevas rutas de transporte y optimizar diseños industriales.

Poner en manos de científicos y laboratorios esta herramienta eliminará las limitaciones de procesamiento de datos y aplicaciones en los algoritmos de inteligencia artificial. Lo anterior capacitaría a las personas para entender el mundo y el universo con una nueva visión; rompiendo las barreras que actualmente parecen muy lejanas o imposibles. Así, dotar a la inteligencia artificial de crecimiento exponencial supondrá una mejora sustancial en los sistemas de reconocimiento de imágenes, de aprendizaje automático y de predicción, que hará los vehículos autónomos más seguros o, que se detecten enfermedades más rápidamente para ayudar al ser humano en múltiples ámbitos.

La computación cuántica pondrá en jaque los sistemas de ciberseguridad, las comunicaciones encriptadas y también las criptomonedas, motivo por el cual su supervivencia durante la próxima década (incluso la de las más populares como *bitcoin* o *Ethereum*), está en tela de juicio. Por ello, las empresas y gobiernos tendrán que adaptarse a esta nueva realidad en materia de seguridad que impondrán los sistemas cuánticos.

Finalmente, es necesario resaltar que las computadoras cuánticas son capaces de incrementar su capacidad de procesamiento anualmente a un ritmo exponencial. Esto supone que dentro de cinco y diez años podrían ser hasta miles de veces más rápidas que las que existen actualmente. Ello implica que cerca de 50 o 100 cúbites estarán operando simultáneamente, por lo que este incremento permitirá manejar y procesar ingentes cantidades de información sobre el universo, la biología, la bioquímica, etc. En consecuencia, se podrá cambiar el modo de concebir el conocimiento en orden de cómo funciona toda la realidad en la que el ser humano se mueve, e incluso, ir más allá en la compresión subatómica y humana.

CONCLUSIONES

La realidad inmediata es que las computadoras cuánticas existen, pero no en la escala y operativa que se puede imaginar. Todavía se encuentran muchas limitaciones y retos que se deben resolver, pues, es cierto que ya se ha superado la “supremacía cuántica”, lo cual significa que una computadora cuántica ha sido capaz de procesar y llegar a solucionar problemas mucho más rápido que computadoras tradicionales. Y, a pesar de esta supremacía y de tener ordenadores cuánticos disponibles, se siguen teniendo grandes limitaciones, derivadas de la naturaleza humana, ya que, lo que un ordenador cuántico crea y la información que genera no se puede utilizar directamente, a menos que sea enviada a un ordenador clásico para interpretarla y utilizarla.

BIBLIOGRAFÍA

1. Segovia Escobar P, Diezma López P. (2020). Abre tus ojos al mañana.
2. Quantum Computing: Tomorrow's computing today. <https://www.ibm.com/quantum-computing/>
3. Open-Source Quantum Development: <https://qiskit.org/>
4. Quantum Computing: An Applied Approach Hardcover – by Jack D. Hidary (Author)
5. Quantum Computing for Everyone (The MIT Press) by Chris Bernhardt (Author)