

SUPREMACÍA CUÁNTICA

Camilo Andrés Calderón Carrillo
Escuela de Ingeniería de Sistemas e
informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Santander
camilocalderon999@hotmail.com

Santiago Angulo Flórez
Escuela de Ingeniería de Sistemas e
informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Santander
sanflo99@hotmail.com

Joseph Fabián Basto Cuadros
Escuela de Ingeniería de Sistemas e
informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Santander
jofabacu64@gmail.com

José Nelson Amaris Ortiz
Escuela de Ingeniería de Sistemas e
informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Santander
amigonelson1@hotmail.com

Javier Andrés Adarme Dávila
Escuela de Ingeniería de Sistemas e
informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Santander
javier.a.adarme@gmail.com

Abstract

Quantum simulation is the focus of research of many scientists around the world as it promises to be the next step to digital or analog simulation, which algorithms must execute algorithms much faster than classical computers because it is more powerful and therefore which could be easily used in disciplines such as High Energy Physics, Quantum Chemistry, Quantum Optics or Computational Simulations. Currently, more than 300 quantum simulators have been developed [1] and although it is an area that promises to develop tasks more easily and even reduce the complexity of execution, the truth is that in reality multiple simulations of Simple quantum systems with a whole series of quantum devices. However, only in the case of neutral atoms trapped in optical networks and ions trapped in ion traps has it been possible to carry out a simulation with a high number of particles.

Resumen

La simulación cuántica es el foco de investigación de muchos científicos en todo el mundo pues promete ser el paso siguiente a la simulación digital o análoga, lo que permitirá ejecutar ciertos algoritmos mucho más rápido que los computadores clásicos debido a que es más potente y por lo que podría ser usada ampliamente en numerosas disciplinas como la Física de Alta Energía, la Química Cuántica, la Óptica Cuántica o las Simulaciones Computacionales. En la actualidad se han desarrollado más de 300 simuladores cuánticos [1] y a pesar de que es un área que promete desarrollar tareas de forma más sencilla e incluso disminuir la complejidad de ejecución, lo cierto es que en la realidad se han realizado múltiples simulaciones de sistemas cuánticos sencillos con toda una serie de dispositivos cuánticos. Sin embargo, solamente en el caso de los átomos neutros atrapados en redes ópticas y de los iones atrapados en trampas de iones ha sido posible llevar a cabo simulaciones con un número elevado de partículas.

Palabras clave

Cúbit, Simulación Cuántica, Mecánica Cuántica, Algoritmo Cuántico

I. INTRODUCCIÓN

Se sabe que simular la mecánica cuántica es un problema computacional difícil, especialmente cuando se trata de sistemas grandes. Sin embargo, esta dificultad puede superarse utilizando algún sistema cuántico controlable para estudiar otro sistema cuántico menos controlable o accesible, es decir, la simulación cuántica [2]. Un sistema cuántico de muchas partículas se describe matemáticamente por un espacio de Hilbert cuya dimensión crece de manera exponencial con el número de partículas. Por lo tanto, una forma simple de simular un sistema así en un ordenador clásico tomará un tiempo de cálculo que también será una función exponencial del número de partículas. Sin embargo, es concebible la simulación más eficiente de un sistema cuántico mediante un ordenador cuántico que use un número de cubits similar al número de partículas del sistema original, en un tiempo.

La idea de la simulación cuántica no está vinculada a ninguna implementación física en particular. De hecho, las primeras realizaciones de los sistemas que exhiben estas características van desde átomos ultra fríos en trampas y redes ópticas, ópticas lineales basadas en mediciones e iones atrapados hasta matrices de unión Josephson. También existen propuestas para electrones en matrices de puntos cuánticos y en la superficie de helio líquido

Una gran diferencia: las computadoras normales usan datos que existen en un solo estado a la vez: uno o cero. Las computadoras cuánticas usan bits cuánticos, o cúbits, que pueden ser simultáneamente cualquier combinación de cero y uno. La diferencia significa velocidades de procesamiento mucho más rápidas [3]. Debido a esta flexibilidad, los cúbits pueden hacer mucho más: un computador cuántico podría, teóricamente, resolver tres millones de cálculos por segundo.

Pero estas máquinas no son sencillas de operar ni de ensamblar. Los procesadores cuánticos de uno de los fabricantes líderes en esta área, D-Wave, necesitan ser enfriados hasta justo por encima del cero absoluto, la temperatura más baja posible (-273.15 en la escala de Celsius), y además deben estar alejados de cualquier interferencia electromagnética [4]. Estas condiciones hacen que sean aparatosas y caras. Las máquinas de D-Wave cuestan entre US\$10 millones y US\$15 millones.



Figura 1. Computadora cuántica desarrollada por D-Wave Systems

II. MARCO TEÓRICO

A. Historia de la simulación cuántica

A principios de 1980, la Mecánica Cuántica ya tenía el formalismo matemático y el respaldo experimental suficiente para considerarla como una teoría sólida y válida, aplicable a diferentes sistemas cuánticos. Los resultados e implicaciones de la teoría cuántica impulsaban a los científicos de la época a realizar más investigaciones en este campo, sin embargo, como sabemos, en un sistema cuántico la observación afecta la medida, por lo que resultaba imposible hacer investigaciones de la manera tradicional. Sumado a esto, tengamos en cuenta que la cantidad de data correspondiente a un sistema macroscópico es enorme, por lo tanto, comprender el comportamiento de estos sistemas era un desafío importante de la física de la época.

Richard Feynmann, un importante físico estadounidense se preguntaba si se podía eludir este problema al estudiar un sistema cuántico desde un método computacional, y si es así, ¿qué tipo de computadora puede emplearse. Al principio, Feynmann creía que una adecuada clase de máquinas cuánticas podría imitar cualquier sistema cuántico. A partir de ese entonces, se ha desarrollado una variedad de plataformas capaces de emular una amplia clase de hamiltonianos cuánticos [5].

En Mecánica Cuántica, los hamiltonianos representan la energía total del sistema, es decir, la suma de su energía cinética y energía potencial, y según el formalismo, cualquier sistema puede ser estudiado al conocer estas energías, por lo que conociendo su hamiltoniano es posible determinar la evolución del sistema, que no es más que el propósito de la Física.

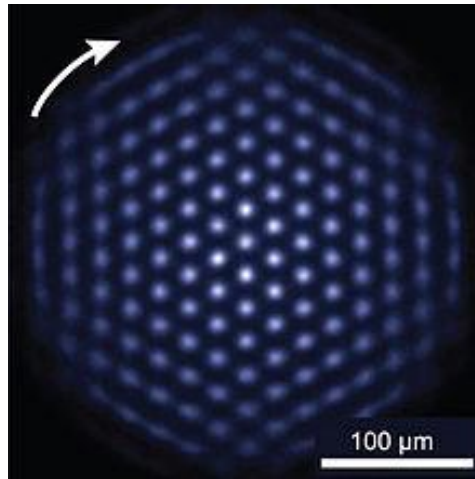


Figura 2. Cristal simulador cuántico, los iones son fluorescentes, lo que indica que los cúbits están todos en el mismo estado.

B. Algoritmos y cálculos cuánticos

La idea de explotar la mecánica cuántica para llevar adelante ciertos tipos de cómputos cobró fuerza a mediados de los noventa, tras la aparición del algoritmo de Deutsch-Jozsa, el primer ejemplo de una tarea que puede resolverse en forma más eficiente apelando a la mecánica cuántica, y más adelante gracias a los algoritmos de factorización de Shor y de búsqueda de Grover. Estos algoritmos señalaron el nacimiento de la computación cuántica como disciplina. Pero además motivaron la expansión y revitalización del área más general de la información cuántica, que incluye el análisis de otros tipos de protocolos, como la distribución cuántica de claves secretas, y de aspectos fundamentales de la mecánica cuántica, como el entrelazamiento, la contextualidad, la decoherencia, etc., objetos de estudio y debate desde hace ya muchos años.

Todo este desarrollo teórico dio impulso a un avance tecnológico impresionante orientado al control de una variedad de sistemas físicos que podrían funcionar como procesadores cuánticos [6]. En este contexto se ha logrado llevar a cabo experiencias que resultaban impensables no tanto tiempo atrás, como la teleportación de un estado de un fotón a través del Danubio, la realización de seis pasos de una caminata cuántica al azar con un átomo en una red óptica, la medición del cociente entre dos frecuencias atómicas con una precisión de 10^{-17} , la creación determinística de entrelazamiento de sistemas masivos a distancias de décimas de milímetro, la observación de “saltos cuánticos” correspondientes a la aparición y desaparición de fotones en cavidades, etc.

C. Glosario

- **Cúbit:** Es un sistema cuántico con dos estados propios que pueden ser manipulado a voluntad. Estos solo pueden ser explicados de manera adecuada a través de la mecánica cuántica, solo tiene dos estados diferenciables mediante medidas físicas.
- **Simulación cuántica:** La simulación cuántica busca explicar las ideas como la simulación análoga, pero aplicándola mediante la mecánica cuántica. Mediante ésta, busca optimizar costes computacionales presentados en la simulación análoga.
- **Simulación análoga:** Es aquella simulación que emplea dispositivos mecánicos o electrónicos para resolver los problemas que se le adjunen.
- **Mecánica cuántica:** Es la rama de la física que estudia a escalas espaciales muy pequeñas. Se basa en que cualquier forma de energía es expulsada en unidades discretas o paquetes pequeños.
- **Algoritmo cuántico:** Es aquel algoritmo que se ejecuta en algún recurso tecnológico cuántico. Estos algoritmos tienen la característica de resolver sus problemas en un tiempo polinómico.

III. CONTENIDO

A. *Importancia de la simulación cuántica*

Hoy en día la mecánica clásica está quedando atrás para dar paso a una nueva rama de la física denominada como la mecánica cuántica, en la cual se estudian cuerpos de tamaño atómico, los cuales no están regidos bajo la mecánica clásica. Los simuladores actuales tienen la capacidad de bosquejar de manera acertada las leyes de la mecánica clásica, sin embargo, las nuevas problemáticas que se presentan hoy en día no pueden ser simuladas con la misma facilidad, pues las máquinas que se emplean hoy en día no poseen una potencia computacional adecuada.

La simulación es importante debido a que permite modelar el comportamiento de un proceso desde antes de realizarlo, lo que da lugar a identificar diferentes variables tales como las limitaciones físicas del proceso, la disminución de costos, cálculo de errores y optimización del sistema en el cual se esté trabajando. Antes de la existencia de los simuladores, era necesario probar cada modelo que se construyera y fuera probado directamente, lo que repercutirá en costos adicionales según la cantidad de pruebas que fueran necesarias realizar.

Con todo esto en mente es necesario simular los modelos antes de crear físicamente algo con el fin de obtener los resultados esperados sin tener muchos costes adicionales. Hoy en día no se ha creado propiamente computadores cuánticos, más bien lo que se ha conseguido es una interacción entre el hardware y software para ir desde ya entendiendo este nuevo paradigma computacional para poder generar interrogantes que deben ser respondidos antes de la creación de un auténtico computador cuántico.

Para poder implementar físicamente un simulador cuántico se requiere un sistema mecánico cuántico que sea controlable. Posibles caminos y diferentes progresos experimentales hacia la construcción de computadores cuánticos han sido discutidos fuertemente en estas últimas décadas [9]

Hay diferentes sistemas que pueden ser implementados en un simulador cuántico específico para el estudio de problemas como la materia condensada. Ejemplos provenientes de la simulación análoga tales como átomos, iones, etc. Estos sistemas pueden ser diseñados como arreglos unidimensionales o bidimensionales de cúbits para ser manipulados de diferentes maneras [9].

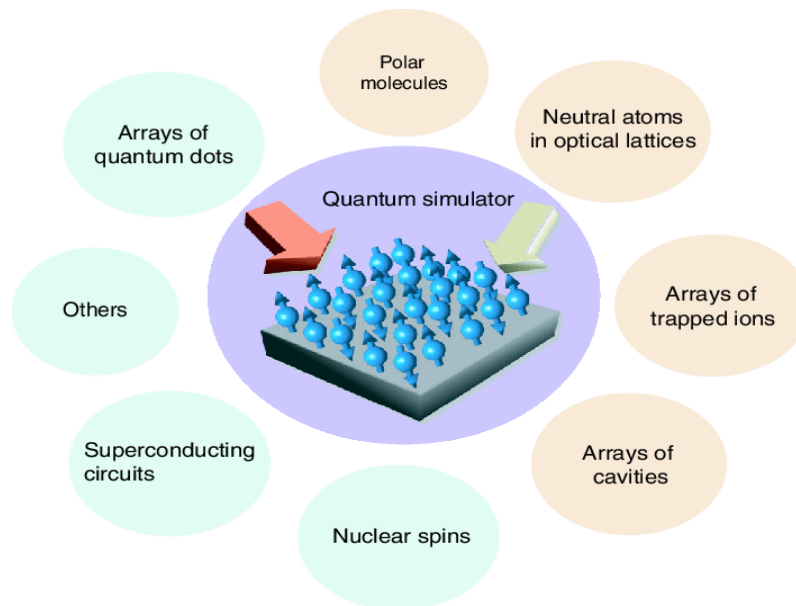


Figura 3. Los diferentes sistemas que pueden ser implementados a través de simuladores cuánticos.

Estos simuladores pueden ser bastante útiles para permitir familiarizarse con computadores cuánticos. Junto a esto cabe destacar que esta área ha alcanzado un alto grado de importancia debido que son bastante precisos, lo que les otorga fiabilidad junto con el hecho que permiten abordar problemas que con los algoritmos clásicos no podían resolverse. Cabe resaltar que el principal objetivo de los simuladores cuánticos es resolver problemas que no pueden ser resueltos por otros medios. [5]

B. *Funcionamiento de un simulador cuántico*

La primera diferencia fundamental de un simulador cuántico respecto a los simuladores digitales es que los bits dejan de ser empleados para dar paso a los cúbits descritos en el entorno cuántico a través de la superposición cuántica. Se pasa de tener una unidad que solo puede tomar el valor de 0 o 1, a tener una unidad capaz de tomar 0, 1 o incluso ambos valores de manera simultánea. Esto permite realizar una mayor cantidad de operaciones en el menor tiempo posible lo que permite un gran avance en diferentes disciplinas computacionales donde resalta

mayormente el paralelismo, esto se genera como resultado de unas partículas que se entrelazan entre ellas y ocurre en millonésimas de segundo. Este fenómeno se le denomina entrelazamiento cuántico [3].

Los cúbits pueden ser descritos bajo la ecuación de Schrödinger, debido a que un el entorno cuántico se puede tomar además de 0 y 1, el valor de la superposición de estos mismos, por lo que el programa ejecuta estas dos instrucciones en paralelo, para finalmente con una sola ejecución retornar el resultado.

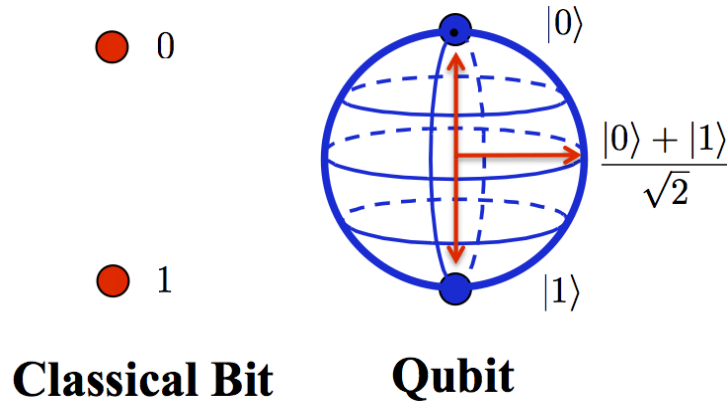


Figura 4. Comparación de los estados posibles entre el bit clásico y el cúbit.

Para construir un buen simulador cuántico es necesario implementar un sistema cuántico que pueda ser manipulado de manera voluntaria utilizando campos externos. Junto a ello este debe estar aislado de su entorno para evitar decoherencia cuántica, es decir que el comportamiento de cúbit termine convirtiéndose en el comportamiento de un bit clásico. Paso seguido, se debe diseñar el hamiltoniano deseado con al menos un parámetro importante para ajustar. Esto permite hacerle una evaluación al simulador cuántica con la cual se puede medir su desempeño. [5]

Para poder comprobar el buen funcionamiento de un simulador se puede recurrir a una de las siguientes alternativas:

- Una evaluación de desempeño con regímenes donde existen distintas soluciones.
- Comprobar que haya coherencia cuántica, es decir, usar técnicas donde se pueda llevar el sistema a un estado anterior y comprobar la coherencia entre estado final con respecto al estado inicial.
- Hacer pruebas en distintos simuladores que sean bastante diferentes en su significativamente diferentes, si los resultados coinciden entre sí y son lógicos se puede decir que tiene un buen funcionamiento. [5]

C. Aplicaciones de la simulación cuántica

Las aplicaciones para los simuladores cuánticos son muy diversas en diferentes campos de la física, la química u otras áreas las cuales requieran o demanden más recursos que los computadores convencionales no son capaz de suplir.

A continuación, se abordarán algunas aplicaciones que los simuladores cuánticos resuelven, entre ellos tenemos los siguientes.[9]:

- **Física de materia condensada:** Entre los problemas manejados en este campo destacan: el modelo de Hubbard y los modelos de espín.
 - Modelo de Hubbard: Este modelo se puede usar en computación clásica cuando se trata la interacción de una cantidad prudente partículas en una rejilla, pero al analizar una gran cantidad de ellas en más de una dimensión se hace intratable. Para ello, han surgido varias propuestas para simular este modelo como, por ejemplo, usando átomos en rejillas ópticas o usando moléculas polares.
 - Modelos de espín: Normalmente se describe por medio de hamiltonianos, los cuales pueden simularse en un DQS. Los espines hamiltonianos se han implementado con átomos en rejillas ópticas o en iones atrapados.

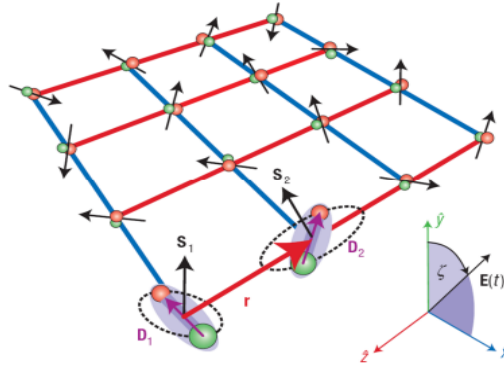


Figura 5. Diagrama de un modelo de espín usando moléculas polares en una rejilla.

- **Física de partículas:** Se ha propuesto para esta área el estudio de sistemas cuánticos relativistas como campos de gauge o fermiones de Dirac con simuladores cuánticos, además de un mapeo entre las dinámicas del oscilador de Dirac $2 + 1$ y el modelo Jaynes-Cummings que permitirían el estudio de mecánica cuántica relativista descrita por la ecuación de Dirac.
- **Física atómica:** En ésta se estudia los circuitos superconductores compuesto de electrones, formando un átomo artificial los cuales son controlados por corrientes, voltajes y fotones microondas. También pueden ser diseñados con características definidas, como momento dipolar o frecuencias de transición particular. Además, estos circuitos se utilizan para nuevos tipos de máseres, láseres y generadores de fotones individuales.

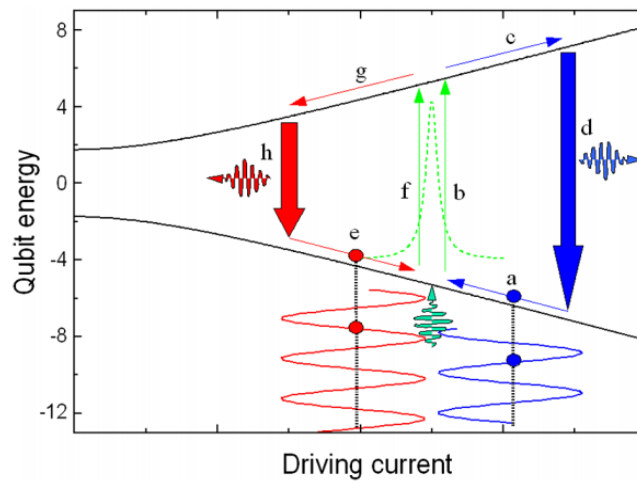


Figura 6. Enfriamiento de Sísifo y ampliación en un circuito superconductor.

- **Química cuántica:** Las contribuciones de la simulación cuántica a la química cuántica se da en, por ejemplo, un algoritmo eficiente para calcular el coeficiente de proporcionalidad térmico, en simular las propiedades estáticas y dinámicas de las moléculas. Para simular reacciones químicas se puede usar AQS teniendo en cuenta la redistribución de electrones entre puntos cuánticos semiconductores para simular esa redistribución en la reacción. Dependiendo de varios factores, estos puntos pueden formar enlaces iónicos o covalentes.

D. Simuladores cuánticos en el mercado

Diferentes simuladores cuánticos han sido propuestos a lo largo de los últimos años, por lo que a continuación se mencionan algunos simuladores cuánticos desarrollados por empresas junto estos se mencionan sus características, ventajas, desventajas y oportunidades en el mercado.

- Máquina de aprendizaje cuántico de ATOS

Este simulador cuántico de ATOS es el primer sistema cuántico disponible en el mercado y que ya está listo para usar, este es capaz de simular hasta 41 cúbits. Este simulador es el sucesor de la anterior creación de ATOS el cual alcanzaba 40 cúbits y era la mitad de potente. Una gran ventaja de ATOS es que, al ser el primer simulador cuántico disponible en el mercado, puede aprovechar su lapso como el único en su nicho de mercado y establecer reputación desde el principio, aunque se generen futuros competidores. Entre sus desventajas está el hecho que, al ser el primer simulador cuántico comercial, tiene que asegurarse de seguir mejorando constantemente y no dejar que una empresa diferente la

corrija y cree un simulador cuántico mejor que el de ATOS. Sus oportunidades en el mercado empiezan primeramente desde el ámbito de la educación; aunque ya una universidad austriaca adquirió una copia de su simulador, diferentes universidades de gran prestigio estarían dispuestas a pagar por una copia con el fin de poder potenciar su rama investigativa.



Figura 7. Thiery Breton el presidente de ATOS junto con su modelo ATOS de aprendizaje cuántico.

- **Simulador cuántico análogo de MPQ**

Este simulador propuesto por el físico español Ignacio Cirac y Javier Argüello, imita la química cuántica de las moléculas. Cirac establece que los computadores cuánticos digitales tardarán muchos años en llegar pues es necesario controlar millones de cúbit. En base a esto Cirac propone el modelo de simulador cuántico análogo, pues a corto plazo pueden crearse dichos simuladores para la resolución de problemas triviales [10]. Una ventaja de esta clase de simuladores es que, de ser exitosos, pueden fabricarse diferentes simuladores según el problema que se necesite, ya se matemático, químico o físico, en el cual ellos pueden generar un modelo estándar y patentarla para que futuras empresas que decidan crear sus propios simuladores análogos estén obligados a pagar cierta comisión si quieren basarse en dicho modelo. Por otro lado, el solo resolver problemas puntuales podría conllevar a que nadie esté dispuesto a invertir en dicho modelo pues lo podrían considerar limitado.

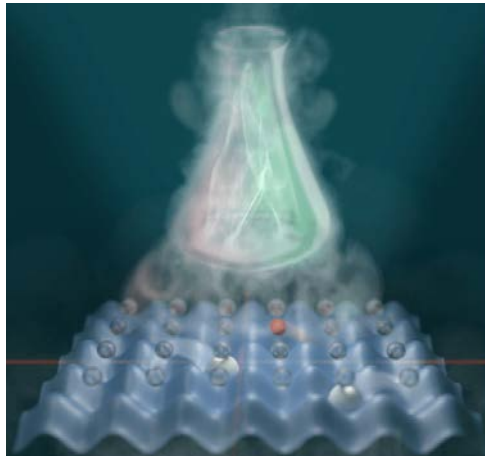


Figura 8. Visualización del simulador cuántico análogo propuesto por Javier Argüello .

- **Simuladores de circuitos cuánticos de IBM**

IBM ofrece acceso gratuito a un ordenador cuántico a través de servicio en la nube, estos ordenadores tienen unas versiones con capacidad de 5 cúbits y versiones con capacidad de 16 cúbits. Para aprender a usar estos ordenadores llamados IBM QX, IBM ofrece un servicio de simulación cuántica el cual es necesario dominar antes de ser capaz de pasar propiamente a los ordenadores. IBM sabe que en los simuladores se obtendrá la respuesta correcta el 100% de las veces mientras que, en un ordenador cuántico, si hay programas extensos son propensos a errores. El programa propuesto por IBM denominado quantum experience permite tener contacto con la computación cuántica sin tener que invertir grandes cantidades de dinero para adquirir un ordenador cuántico, esto puede conllevar a que distintas personas despierten un interés en este ámbito y puedan terminar adquiriendo equipos cuánticos, por lo que IBM podría por su cuenta vender ordenadores cuánticos fabricados por ellos respetando la interfaz y principios que mostraron en sus simuladores. El editor gráfico de programas cuánticos, para los ordenadores

de 5 cúbits, ofrece algo parecido a un pentagrama musical donde se colocan los operadores cuánticos (unarios, binarios y ternarios) a modo de notas musicales.

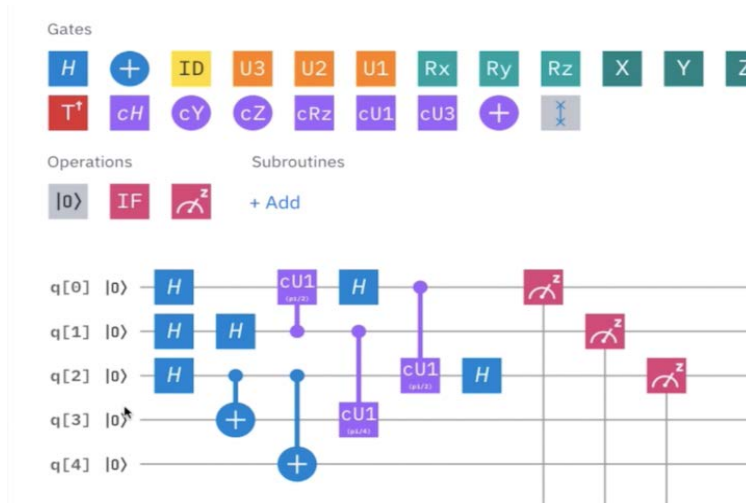


Figura 9. Interfaz del simulador de 5 cúbits de IBM Quantum Experience

- Algoritmo de búsqueda de Grover

Usando el ordenador de IBM QX puedes implementar todos los algoritmos cuánticos que vienen en los libros de texto (como el algoritmo de búsqueda de Grover para tres cúbits mostrado en esta figura). Un punto importante que debes tener en cuenta es que si un circuito funciona el 100% de las veces en el simulador (para cinco cúbits), en el ordenador cuántico funcionará bien un porcentaje menor de veces (superar el 60% es poco habitual). Cuantas más puertas lógicas cuánticas tengan el circuito (tanto las visibles en el circuito de la figura como las “invisibles” debidas a las restricciones de la topología de conexión física) más error se producirá en el resultado (la decoherencia cuántica es imposible de evitar). Así no te sorprendas si un circuito que en el simulador funciona al 100% en la implementación física no funciona nunca (0%); en dicho caso es imprescindible una optimización del circuito.

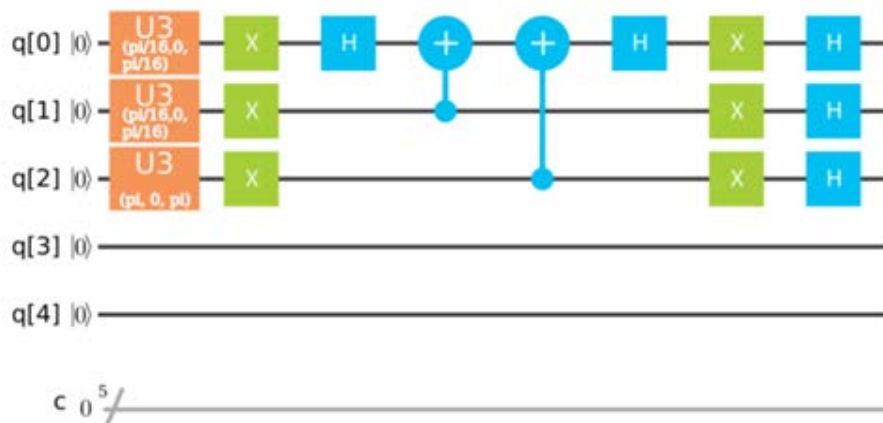


Figura 10. Algoritmo de búsqueda de Grover (búsqueda bit uno en N bits $O(N^{1/2})$)

- Algoritmo de Shor

Los avances en cuanto a tecnologías nos han demostrado que no tienen límites, de años atrás observamos como la ley de Moore se cumple en cuanto a crecimiento de número de transistores en computadores convencionales, pero en la actualidad esa ley está dejando de aplicar obligando a los ingenieros y diseñadores el reto de buscar nuevas alternativas para poder suplir y dar resultado a resolver problemas cada vez más complejos. El procesamiento que realiza el algoritmo se hace en paralelo y por ello las compuertas cuánticas asociadas son capaces de realizar un número determinado de cálculos de forma simultánea sobre el mismo número. Una vez realizado dicho cálculo, se procede a colapsar la función de onda. Cuando esto es realizado la medición resultante es de carácter probabilístico, pero lo que demostró Shor fue que a pesar de que es necesario colapsar varias veces la función de onda para encontrar su distribución probabilística, esto se realizaba en un tiempo exponencialmente menor comparado con su contraparte en la computación tradicional. [11]

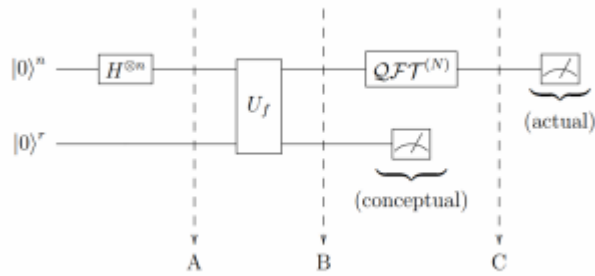


Figura 11. Diagrama algoritmo de Shor

- **Importancia de la Criptografía Cuántica**

La criptografía cuántica es una de las áreas más recientes en investigación dentro de la criptografía, está basada en los principios de la mecánica cuántica para transmitir y proteger la información, de manera que solo pueda ser accedida por los usuarios autorizados. Su desarrollo surge de la investigación de la computación cuántica como un medio a futuro para proteger la información de manera que esta continúe siendo segura y su transmisión sea más confiable y privada. Una de las mayores ventajas de la criptografía cuántica, es su capacidad de detectar los intrusos y las interceptaciones en el canal. El estado del sistema cuántico cambia cuando una interceptación o escucha en las comunicaciones es detectada. Por consiguiente, solamente los usuarios autorizados del sistema pueden descubrir que el estado cuántico del sistema ha cambiado, mientras que un espía no puede determinar el estado cuántico del sistema ni duplicarlo, por los principios fundamentales de la mecánica cuántica. Los sistemas criptográficos pueden lograr una seguridad incondicional, y de esta manera garantizar una comunicación segura. La gran desventaja que existe en los proyectos de investigación relacionados con la mecánica cuántica, como por ejemplo la criptografía cuántica y la computación cuántica, son sus altos costos y es allí de la necesidad de utilizar otras herramientas que ayuden en la comprensión y estudio de la criptografía cuántica, en este caso a través del desarrollo de un simulador. La seguridad de los sistemas criptográficos cuánticos radica en la distribución de las claves. Un cambio en el estado cuántico del sistema ocurre cuando un intruso captura los bits cuánticos utilizados para la generación de la clave de comunicación. El intruso, entonces, puede ser detectado debido a la modificación que sufre el estado cuántico del sistema. Por lo tanto, el estudio y desarrollo de la criptología cuántica está enfocada a la investigación de un Protocolo de Distribución de Clave Cuántica (QKD) que sea práctico y eficiente. Además, recientemente se ha convertido en un tema importante de investigación en la mecánica cuántica.

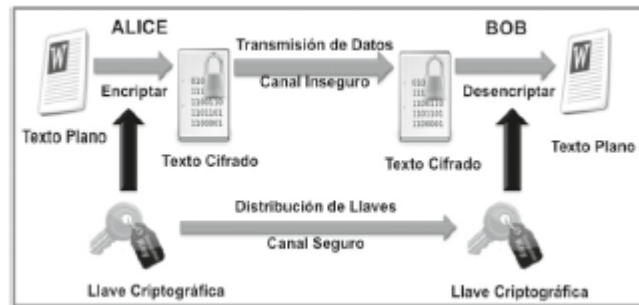


Figura 12. Modelo de comunicación y transmisión de mensajes privados por un canal inseguro.

IV. CONCLUSIONES

Los avances en cuanto a tecnologías nos han demostrado que no tienen límites, de años atrás observamos como la ley de Moore se cumple en cuanto a crecimiento de número de transistores en computadores convencionales pero en la actualidad esa ley está dejando de aplicar obligando a los ingenieros y diseñadores el reto de buscar nuevas alternativas para poder suplir y dar resultado a resolver problemas cada vez más complejos, de allí la limitación por espacio en los diseños de transistores y por la cantidad de calor que emiten se vio la necesidad de buscar métodos alternos, y uno de estos surge en la computación cuántica, de aquí y para entender mejor su funcionamiento están los simuladores cuánticos.

Los computadores cuánticos nacen también de la necesidad de consolidar en una sola máquina la capacidad de simular cualquier sistema cuántico sin tener que estar este limitado para algún tipo especial de problema.

Podemos utilizar los simuladores cuánticos para tratar problemas por el momento sencillos relacionados con la física cuántica, problemas específicos o usar simuladores flexibles para abarcar problemas más generales. Pero en síntesis los simuladores cuánticos deberán llevarnos a la resolución de grandes problemas bien sea a nivel atómico o en astrofísica que mediante la computación clásica tardaría millones de años o simplemente no se resolvería jamás.

Al final es muy probable que lleguemos a ver computadores cuánticos reales que logren la ansiada “supremacía cuántica”. Además de las posibles aplicaciones tecnológicas (simulación de sistemas cuánticos, criptografía, machine learning, etc). Estas máquinas llevarán el extraño mundo de las partículas fundamentales hasta nuestros hogares. Hasta ahora conceptos como el spin o la función de onda cuántica no eran más que cosas abstractas sin ninguna relación con nuestro mundo macroscópico.

REFERENCIAS

- [1] Altman, E., Brown, K. R., Carleo, G., Carr, L. D., Demler, E., Chin, C., ... & Greiner, M. (2019). Quantum Simulators: Architectures and Opportunities. arXiv preprint arXiv:1912.06938. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] Georgescu, I. M., Ashhab, S., & Nori, F. (2014). Quantum simulation. *Reviews of Modern Physics*, 86(1), 153. K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
- [3] Riley. (2019). Google afirma que su computadora cuántica puede hacer lo imposible en 200 segundos. EE.UU. CNN. Recuperado de <https://cnnespanol.cnn.com/2019/10/23/google-afirma-que-su-computadora-cuantica-puede-hacer-lo-imposible-en-200-segundos/>
- [4] Thomas. (2016). Las supercomputadoras que pueden cambiar para siempre el mundo de las finanzas. UK. BBC. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160408_computadoras_super_rapidas_sistema_financiero_ps
- [5] Medina. (s.f). Principios y tipos de simulación cuántica. DK. Epsilon Magazine. Recuperado de <https://epsilonmag.com/ciencia/fisica/fisica-cuantica/principios-y-tipos-de-simulacion-cuantica>
- [6] Cormick, M. C. (2009). Decoherencia y simulaciones cuánticas: ambientes con dinámica propia (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).
- [7] Fanaro M. de los Ángeles, Otero R., & Arlego M. (2007). Software de simulación y reconstrucción de fundamentos de la mecánica cuántica en la escuela. *Revista Iberoamericana De Tecnología En Educación Y Educación En Tecnología*, (2), p. 4-12. Recuperado a partir de <https://teyet-revista.info.unlp.edu.ar/TEyET/article/view/186>
- [8] Paredes, M. (2007). Simulación de cómputo cuántico (tesis, Instituto Politécnico Nacional. departamento de computación) México.
- [9] Georgescu, Iulia & Ashhab, S. & Nori, Franco. (2013). Quantum Simulation. *Reviews of Modern Physics*. 86. 10.1103/RevModPhys.86.153.
- [10] J. Argüello-Luengo, A. González-Tudela, T. Shi, P. Zoller & J. I. Cirac. “Analogue Quantum Chemistry Simulation”. *Nature* (9 de octubre, 2019) DOI: 10.1038/s41586-019-1614-4
- [11] Giraldo, A (2019). Complejidad de Algoritmo de Shor frente al Algoritmo Euclidiano (trabajo final, Universidad EAFIT) Medellín.