


# ¿Es posible desarrollar computación cuántica en Venezuela?

Is it possible to develop quantum computing in Venezuela?

Jesús Erazo <sup>1</sup>

Pablo Sulbarán <sup>2</sup>

Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Tecnologías Libres, Mérida, Venezuela<sup>1,2</sup>

jerazo@cenditel.gob.ve<sup>1</sup>

psulbaran@cenditel.gob.ve<sup>2</sup>

Fecha de recepción: 20/09/2021

Fecha de aceptación: 16/10/2021

Pág: 64 – 76

## Resumen

Los recientes avances en computación cuántica, representan una apuesta firme por una nueva forma de hacer computación basada en los fundamentos de la física cuántica. En la víspera de una era caracterizada por novedosas aplicaciones de los fenómenos cuánticos, se hace necesario que en el país se aborde con firmeza la tecnología emergente, pero, ¿es posible desarrollar computación cuántica en Venezuela? Para responder esta interrogante, se realiza en primer lugar una exploración de sitios web de instituciones universitarias y centros de investigación del país, con la finalidad de conocer sus fortalezas en materia de investigación avanzada, enfocada al desarrollo de la nueva tecnología. El resultado de la exploración permite responder que existe la posibilidad de emprender tal desafío. Debido a que el país cuenta con talento humano cualificado, instituciones universitarias, centros y laboratorios de investigación con un amplio cúmulo de conocimientos y experiencias en el desarrollo de investigación científica de alto nivel, que solo requieren ser canalizadas con creatividad, y en articulación armoniosa entre todas las instituciones, para el desarrollo del nuevo paradigma de la computación, y así aprovechar las bondades de la nueva tecnología cuántica.

**Palabras clave:** Computación, física cuántica, tecnología emergente.



Esta obra está bajo licencia [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

## Abstract

Recent advances in quantum computing represent a firm commitment to a new way of computing based on the foundations of quantum physics. On the eve of an era characterized by novel applications of quantum phenomena, it is necessary for the country to firmly address emerging technology, but is it possible to develop quantum computing in Venezuela? To answer this question, first an exploration of the websites of university institutions and research centers in the country is carried out, in order to know their strengths in advanced research, focused on the development of new technology. The result of the exploration allows us to answer that there is the possibility of undertaking such a challenge. Because the country has qualified human talent, university institutions, research centers and laboratories with a wide accumulation of knowledge and experiences in the development of high-level scientific research, which only need to be channeled with creativity, and in harmonious articulation between all institutions, for the development of the new computing paradigm, and thus take advantage of the benefits of the new quantum technology.

**Key words:** Computing, emerging technology, quantum physics.

## Introducción

La computación cuántica es un nuevo paradigma de hacer computación utilizando la teoría de la mecánica cuántica. Por ahora, sus usos están orientados a resolver problemas de optimización y búsqueda; también tiene especial interés en la simulación de sistemas cuánticos. La idea es utilizarla en problemas complejos que dentro de la computación clásica, es imposible llevar a cabo. En ese sentido, la nueva tecnología promete ser ventajosa respecto a la computación actual.

Además, se prevé que para los próximos años tendrá una fuerte influencia en la sociedad por sus posibles usos en diversas áreas que abarcan desde la medicina hasta pronósticos meteorológicos (Allende & Da Silva, 2019). Sin embargo, la computación cuántica se presenta como una posible amenaza contra aquellas tecnologías que utilizan criptografía como la seguridad informática y blockchain (López, 2020).

En tal sentido, la computación cuántica es un tema que debe ser abordado por nuestro país con la profundidad requerida debido al impacto que se espera de la misma. Ahora bien, ¿es posible llevar a cabo ese reto tecnológico en nuestra nación? Bueno, en primer lugar se necesita comprender sus aspectos teóricos, en segundo lugar se deben conocer las tecnologías que se utilizan para construir un computador cuántico.

De acuerdo con el Massachusetts Institute of Technology (s.f.), la teoría de la computación

cuántica se fundamenta básicamente en tres disciplinas: matemática, física y ciencias de la computación. De la física toma conocimientos de: mecánica cuántica; física atómica, molecular y óptica; materia condensada y alta energía. De la matemáticas: álgebra lineal, probabilidad, teoría de grupos y representación, teoría de matrices aleatorias y análisis funcional. De ciencias de la computación: teoría de la información, aprendizaje automático, códigos de corrección de errores, optimización y complejidad.

En cuanto a las tecnologías que se utilizan para la construcción de computadoras cuánticas están aquellas basadas en trampa de iones y en cúbit superconductores. Para el adecuado funcionamiento de ambas tecnologías se necesitan alcanzar condiciones de cero absoluto, aislamiento electromagnético y protección contra la radiación (Varona, [2 de julio de 2020](#)). En el caso de computadoras cuánticas superconductoras se requiere el desarrollo de materiales cuánticos, además el estado del cúbit, elemento fundamental del nuevo paradigma de computación, debe ser manipulado a través de campos eléctricos, láseres o pulsos de microondas (Bourzac, [15 de abril de 2019](#)). Aquí, se puede deducir que para el desarrollo de la tecnología se necesita también formación técnica en ciencia de materiales, criogenia, óptica cuántica, superconductividad y magnetismo.

Entonces, este ensayo tiene como objetivo mostrar que en nuestro país existe la oportunidad de desarrollar computación cuántica. Para ello se realiza una exploración de sitios web oficiales de universidades e institutos de investigación para conocer sus capacidades y experiencias investigativas en áreas afines a las disciplinas citadas en los dos últimos párrafos, de manera que sirvan como indicadores para el posible desarrollo de la tecnología. Se espera hacer visible que nuestro país cuenta con centros de investigación con capacidad de realizar aportes (teóricos, en principio) para el desarrollo de la computación cuántica.

Enmarcado en el contexto de interés, en primer lugar se aborda la computación clásica con la finalidad de establecer diferencias con el nuevo paradigma de computación, después se presentan los fenómenos cuánticos subyacentes en la computación cuántica, seguidamente se realiza un esbozo sobre computación cuántica para comprender su funcionamiento básico, posteriormente se visibilizan las posibilidades de desarrollo de la nueva computación y las reflexiones finales.

## **La computación clásica**

En virtud que a lo largo del texto se hace referencia a la computación clásica, en esta sección es abordada con la finalidad de contrastarla con aquella computación cuyos principios de funcionamiento e inclusive su hardware están condicionados por la mecánica cuántica. La computación clásica — término que se utiliza para establecer una diferencia con la computación cuántica, en cuanto a la tecnología utilizada en el procesamiento y almacenamiento de la información — utiliza la tecnología del transistor, elemento integral de circuitos eléctricos denominados compuertas lógicas o circuitos lógicos, que permiten procesar y almacenar la

información a través de operaciones booleanas.

Con respecto a la lógica booleana, ésta solo acepta uno de los dos valores o estados posibles: 0 ó 1. ¿Cómo lograr los estados 0 ó 1 en un computador? En la práctica, se utilizan valores estándar de voltaje o de intensidad de corriente eléctrica, para representar un único estado 0 ó 1; en informática este estado único representa la unidad mínima de información denominada bit.

Por otro lado, el proceso tecnológico de la miniaturización de los circuitos electrónicos, ha sido la clave en la sofisticación, rendimiento, capacidad de cálculo y almacenamiento de los sistemas informáticos actuales, sin embargo, dicho proceso tecnológico presenta limitaciones en cuanto al control del calentamiento de los dispositivos y el manejo de otros fenómenos físicos que ocurren a escala nanométrica (Bedoya, 2001).

En efecto, los principales problemas relacionados con la miniaturización están asociados con la dificultad para controlar efectos térmicos y fenómenos cuánticos que ocurren, en los cada vez más diminutos transistores densamente concentrados en los microprocesadores. En tal sentido, la limitación que surge en la miniaturización del transistor más que técnica es de tipo fenomenológica.

En este contexto ha surgido la idea de la nanocomputación, la cual hace referencia a sistemas informáticos y en general de electrónica digital a escala nanométrica, es decir, la mil millonésima parte de un metro ( $10^{-9}m$ ). El hecho de integrar una mayor cantidad de transistores en un circuito integrado implica que deben reducirse de tamaño y además establecer capas de interconexión entre ellos, esto conlleva a que se genere más calor y por ende es más complicado disipar el mismo. De ésta manera se llega a un límite que no se puede lograr el cumplimiento de la Ley de Moore, la cual enuncia que el número de transistores en un circuito integrado se duplica cada año y medio.

Posiblemente, se ha llegado a un momento de la historia de la computación clásica, en el cual la legendaria ley de Moore deja de ser una profecía autocumplida (Mollick, 2006). Es importante mencionar que en la actualidad, los problemas asociados a las limitaciones en la miniaturización del transistor, están siendo superados a través de la técnica de computación en paralelo, también existe un área de estudio aún en desarrollo denominada espintrónica, que intenta resolver los problemas asociados a la miniaturización, a través del control de los electrones a través de una propiedad cuántica de éste, el espín.

## **Fenómenos cuánticos subyacentes en la computación cuántica**

La computación cuántica se basa en la física cuántica y ésta a su vez en el estudio de los fenómenos cuánticos, es oportuno conocer la fenomenología presente en el nuevo paradigma de computación para tener una idea aproximada con respecto a su forma de funcionar.

Existe un conjunto de fenómenos físicos que solo pueden ser explicados a partir de la teoría de la mecánica cuántica, entre los cuales tenemos: la dualidad onda-partícula de la luz; el comportamiento ondulatorio de partículas subatómicas, como los electrones; el efecto túnel; el espín; la superconductividad; la superposición cuántica y el entrelazamiento cuántico.

Con relación al denominado comportamiento dual onda-partícula de la luz, en principio se debe indicar que es un concepto introducido en la teoría de la mecánica cuántica por el físico danés Bohr para expresar que un sistema se puede comportar como una onda o partícula, pero no ambas formas a la vez, dependiendo del experimento que se realice (Bohr, 1935).

Por ejemplo, en experimentos de interferencia, la luz muestra naturaleza ondulatoria; por otro lado, cuando la luz de determinada frecuencia ilumina cierto metal, produciendo la expulsión de electrones del material (efecto fotoeléctrico), la luz, se comporta como si estuviese formada por partículas denominadas fotones. La interpretación del efecto fotoeléctrico en términos de fotones o cuantos de luz, así como la explicación del fenómeno del comportamiento ondulatorio del electrón en experimentos de difracción, se basan en la teoría cuántica de la radiación electromagnética y la materia; teoría que unifica la materia y radiación a nivel atómico.

Igualmente el efecto túnel es un fenómeno explicado por la dualidad onda-partícula; en términos sencillos, este efecto cuántico se caracteriza por el hecho de que una partícula subatómica confinada en cierta región del espacio, tiene la probabilidad de vencer el confinamiento, a pesar de no contar con la energía suficiente para hacerlo, es decir, la partícula subatómica puede hallarse en lugares prohibidos físicamente (Gautreau, 1999).

Por otra parte, el espín o momentum angular intrínseco como también se le conoce, es una propiedad física de valor discreto, constante y único para cada una de las siguientes partículas cuánticas: electrón, protón, fotón. Es necesario resaltar que el espín de una partícula subatómica, no representa el giro de la misma sobre su mismo eje; es una propiedad física muy abstracta, que solo se acerca a su comprensión a través de su manifestación a nivel experimental por su sensibilidad a un campo magnético externo. En el caso de un electrón, su espín solo puede tomar dos orientaciones respecto a la dirección de campo magnético externo y asume uno de los dos valores posibles en el momento en que es medido (Sutter, 19 de diciembre de 2017).

El fenómeno de la superconductividad, aún está en estudio. Se conoce que los materiales superconductores se caracterizan por tener propiedades de conductor perfecto para transportar corriente eléctrica sin pérdida de energía. El fenómeno se presenta cuando un material superconductor es sometido a un proceso de enfriamiento por debajo de cierto valor de temperatura para la cual el material pierde toda su resistencia eléctrica (Webb, s.f).

En cuanto a la superposición cuántica, se trata de un fenómeno que ocurre a escala atómica. Básicamente, se tiene una situación en la cual un sistema físico presenta en forma simultánea más de un valor en una de sus propiedades físicas antes de la medida, por ejemplo, un electrón puede estar en un estado cuántico de multiposición antes de la medición de su ubicación. Aquí, es importante mencionar que el estado cuántico de una partícula, cuando no es observado, es caracterizado por una función de onda, su evolución en el tiempo es guiado por la ecuación de Schrödinger, ésta por ser una ecuación lineal y homogénea, sus soluciones son linealmente superpuestas, esto constituye el principio de superposición, de allí que el estado del sistema es una combinación lineal de estados posibles del sistema (Cohen-Tannoudji, Diu & Laloe, 1991).

Finalmente, el entrelazamiento cuántico se interpreta como un fenómeno físico, en el cual los sistemas cuánticos o partículas subatómicas entrelazadas, deben ser descritas matemáticamente por una única función de onda. Además, la correlación de las propiedades físicas observables entre los sistemas o partículas cuánticas es tal que, a pesar de estar separadas en el espacio, sin importar la distancia, las medidas realizadas en un sistema influyen automáticamente en los otros sistemas (Wilczek, 28 de abril de 2016).

## La computación cuántica

La nueva computación es una combinación de física, matemática e informática (Hagar & Cuffaro, 2019). Conviene subrayar que su marco teórico es la mecánica cuántica. Es una tecnología que está aún en desarrollo, utiliza propiedades cuánticas como el espín del electrón o la polarización del fotón. El tratamiento y procesamiento de la información se fundamenta en los fenómenos físicos de la superposición y el entrelazamiento cuántico. En la computación cuántica, la unidad mínima de información se denomina cúbit o bit cuántico, que puede representar el estado 0 o 1, o la superposición de estados 0 y 1. Es importante destacar que el cúbit es un sistema cuántico sensible a la medida.

Además, en la computación emergente no se utiliza determinados valores de variables eléctricas, para representar al cúbit; su tecnología es diferente a la computación convencional, utiliza por ejemplo uno de los estados del espín del electrón o de la polarización del fotón para representar el estado 0 ó 1, o la superposición de los dos estados posibles para representar la combinación simultánea de los dos valores 0 y 1.

Concretamente, para entender la potencialidad de cálculo de la tecnología emergente consideremos la siguiente situación: el estado de un bit clásico, en notación de Dirac es  $|0\rangle$  ó  $|1\rangle$ , se cuenta entonces con un solo estado por bit. En caso de dos bit, se tiene dos estados básicos representados en forma simbólica como  $|01\rangle$  ó  $|10\rangle$ . En computación cuántica, el estado de un cúbit en superposición es  $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ , representando simultáneamente los estados  $|0\rangle$  y  $|1\rangle$ , con amplitudes de probabilidad complejas  $\alpha$  y  $\beta$  para cada estado respectivamente, por tanto se cuenta con dos estados por cúbit. Dos cúbit se representan

como  $\gamma | 00 \rangle + \delta | 01 \rangle + \epsilon | 10 \rangle + \tau | 11 \rangle$ , en este caso corresponde a las combinaciones simultáneas de cuatro estados, con amplitudes de probabilidad complejas  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$  y  $\tau$  para cada estado respectivo. Se observa entonces que, con los cúbit el número de estados aumenta de la forma  $2^n$ , este hecho posibilita en caso de haber operaciones lógicas involucradas, realizar más de una operación en un mismo instante de tiempo.

Por consiguiente, la superposición de estados en la computación cuántica es la clave de sus potenciales usos. Ahora bien, se debe recordar que los sistemas cuánticos son sensibles a la medida, es más, la superposición desaparece ante cualquier interacción con el entorno, por tanto, el sistema cuántico utilizado como cúbit debe estar aislado. Para evitar cualquier interacción con su entorno, así como cualquier vibración térmica, el sistema debe estar en el vacío absoluto, se debe evitar su exposición a la radiación electromagnética y enfriarse hasta alcanzar temperaturas próximas al cero absoluto.

Por otro lado, ¿cómo utilizar los fenómenos cuánticos a favor de la computación? En el trabajo de investigación de (Blatt & Wineland, 2008) nos presenta la manera de hacerlo a través de iones atrapados en campos electromagnéticos enfriados por láser, en lo que se conoce como trampa de iones. En este caso, el espín del electrón del átomo ionizado representa al cúbit físico. Los investigadores describen como un láser de enfriamiento crea estados del cúbit que permiten acoplarse entre sí, logrando el estado de superposición. En pocas palabras, la técnica del láser utilizada en iones atrapados en campos electromagnéticos permite crear estados de superposición.

Asimismo Clarke y Wilhelm (2008), nos ofrecen otra manera de lograr la computación cuántica a través de circuitos superconductores con propiedades cuánticas de superposición de estados y entrelazamiento. En este caso, el estado cuántico de los cúbit superconductores se manipula mediante pulsos electromagnéticos que controlan el flujo magnético, la carga eléctrica o la diferencia de fase a través de una unión Josephson.

Hasta ahora, se han presentado ciertos aspectos teóricos y experimentales de la computación cuántica, queda ahora por responder la siguiente pregunta: ¿cómo se realizan las instrucciones para procesar la información o para realizar cálculos? La respuesta está en los algoritmos cuánticos, estos últimos consisten en un conjunto de operaciones realizadas sobre los cúbit a través de puertas cuánticas.

En consecuencia, los algoritmos son una parte fundamental de la computación cuántica y su estudio e implementación se ha ido consolidando, hecho que se refleja en el trabajo de Montanaro (2016), sobre los avances en las dos últimas décadas en la elaboración de algoritmos cuánticos y sus aplicaciones en criptografía, grafos y el desarrollo de nuevos fármacos. Cabe destacar el trabajo de Shor (1994), quien desarrolló un algoritmo para factorizar números enteros, abriendo así las puertas a la criptografía cuántica. El algoritmo de Shor ha sido un

aliciente para promover la investigación en la computación cuántica en el área de la seguridad de la información.

Hasta el momento, parecen estar todas las piezas para llevar a cabo el desarrollo de la computación cuántica, sin embargo, aún falta por considerar las dificultades a las que se enfrenta. Como se ha visto los sistemas cuánticos o cúbit son sensibles a la interacción con el ambiente, así que uno de los desafíos es mantener el estado de coherencia o superposición en un tiempo razonable para llevar a cabo los algoritmos cuánticos; otro problema asociado a la sensibilidad del cúbit es aumentar la escalabilidad (incorporar más cúbit), también se debe tener presente la corrección de errores de suma importancia en la teoría de la información.

A pesar de las dificultades arriba señaladas, existen importantes avances en investigación y desarrollo tecnológico que van consolidando la nueva computación. Por ejemplo, recientemente se desarrolló una técnica de resonancia que permite el control del espín del electrón a través del uso de una fuente de microondas aplicada a un dispositivo nanoelectrónico cuántico de silicio. La técnica desarrollada, abre la posibilidad al diseño y construcción de procesadores cuánticos de silicio, con más de un millón de cúbit basados en el espín del electrón (Vahapoglu, Slack-Smith, Leon y col., 2021). Es necesario enfatizar que esta técnica permitiría en muy pocos años superar el problema de coherencia y escalabilidad que se presentan en los actuales momentos de la computación cuántica.

También otro avance tecnológico a destacar es la instalación en Alemania de la primera computadora cuántica del mundo, la denominada IBM Quantum System One, planeada para: actividades académicas; investigación científica; aplicaciones industriales y uso comercial (Moskvitch, 2021). Conviene subrayar que la puesta en funcionamiento de la IBM Quantum System One, demuestra que además de representar una apuesta firme a la investigación y desarrollo de la computación cuántica, también representa la creación de una cultura en torno a esta última. En resumidas cuentas, existe una esperanza en una nueva forma de hacer computación basada en los fundamentos de la mecánica cuántica.

A continuación se presentan los hechos más importantes que han impulsado el avance de la computación emergente.

### **Eventos importantes en el desarrollo de la computación cuántica**

En la presentación elaborada por Aguilar (2013), se muestra una cronología de la evolución de la computación cuántica y de los computadores cuánticos desarrollados:

- 1982 Richard Feynman propone el computar cuántico
- 1985 David Deutsch conceptualiza el computador cuántico
- 1994 Peter Shor demuestra cómo encontrar factores primos y calcular logaritmos discretos



- 1995 Ben Schumacher define el cúbit, iniciándose el interés en la teoría de la información cuántica
- 1995 Lov Grover propone un algoritmo rápido para búsqueda en bases no estructuradas de datos
- 1998 D. Loss (Universidad de Bassel - Suiza) y D. DiVincenzo (IBM) proponen los puntos cuánticos usando spin de electrones
- 2001 L. Vandersypen junto con su equipo de trabajo factorizan el número 15. Proyecto conjunto de la Universidad de Standfor e IBM
- 2004 L. Vandersypen junto con su equipo de investigadores proponen métodos indirectos para medir el espín de electrones individuales
- 2005 C. Marcus, logra controlar experimentalmente espín swap cuánticos (Universidad de Harvard)
- 2006 L. Vandersypen junto con su equipo de trabajo, logran controlar el spin
- 2020. Instalación en Alemania de la primera computadora cuántica del mundo, la denominada IBM Quantum System One

## **Posibilidad de estudio e investigación en computación cuántica en Venezuela**

De la sección anterior se deduce que en el desarrollo de la tecnología se requiere conocimiento especializado en física, matemática, espintrónica, nanotecnología, ciencia de materiales, ciencias de la computación, criogenia, óptica cuántica, superconductividad y apantallamiento electromagnético. Por tanto, la exploración web que se realiza en este escrito se centra en identificar las instituciones con líneas de investigación afines a las áreas de conocimientos citadas anteriormente.

La finalidad de esta sección es presentar algunos centros de conocimientos que pueden contribuir al desarrollo de la computación cuántica a partir de sus cúmulos de conocimientos, experiencias académicas e investigativas. Es necesario aclarar que la información que se presenta en los próximos párrafos es obtenida a partir de sitios web oficiales de centros de investigación e instituciones universitarias existentes en el país.

Venezuela cuenta con siete universidades con amplia experiencia en el desarrollo de investigación científica de alto nivel en el campo de las ciencias básicas. En el campo de formación e investigación en física y matemática, estas últimas fundamentales en el estudio de la computación cuántica, se encuentran las siguientes instituciones: Universidad de Los

Andes (ULA), Universidad Central de Venezuela (UCV), Universidad Simón Bolívar (USB), Universidad del Zulia (LUZ), Universidad de Carabobo (UC), Universidad de Oriente (UDO) y Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Junto a este grupo de instituciones universitarias se encuentra el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

El IVIC tiene una vasta experiencia científica. El instituto cuenta con un conjunto de centros enfocados a la investigación básica y aplicada, entre los cuales hay dos dedicados a la ciencia y tecnología de materiales, como lo son el Centro de Ingeniería de Materiales y Nanotecnología, y el Centro de Investigaciones y Tecnología de Materiales. La experiencia en investigación y desarrollo en los citados centros pueden orientarse al estudio de nuevos materiales con aplicaciones en la espintrónica y superconductores. El instituto cuenta además con el Centro de Óptica Aplicada, cuyo caudal de conocimientos pueden utilizarse en la investigación de la fotónica y sus aplicaciones en el estudio y uso del láser, este último útil en el desarrollo de la computación cuántica.

Otro importante centro de investigación que se encuentra en el IVIC es el Centro de Física, donde se realizan estudios en física de la materia condensada, fenómenos de transporte cuántico y superconductividad. Es importante mencionar que la física de la materia condensada es transversal a las ciencias de materiales, superconductividad y transporte de espín, por tanto tiene importantes aplicaciones en computación cuántica. En tal sentido, la tradición en el desarrollo de ciencia del referido instituto puede ser orientada al nuevo paradigma de la computación.

En la USB existe una línea de investigación en óptica cuántica, allí se realizan estudios de fenómenos ópticos de tipo cuánticos. Se puede aprovechar la experiencia en ese campo de investigación, para avanzar en el estudio de la espintrónica y sus aplicaciones en la computación cuántica.

En la ULA, se encuentran laboratorios de física relacionados con óptica cuántica, física aplicada, magnetismo, materia condensada y bajas temperaturas, cuyas experiencias en años de investigación pueden dar aportes al conocimiento y desarrollo de la tecnología emergente. Además, la ULA cuenta con el Centro de Estudios en Semiconductores, adscrito a la Facultad de Ciencias, donde se han realizado investigaciones sobre espintrónica, en este sentido se cuenta con la investigación desarrollada por (Villarreal, Grima, Briceño y col., 2012), donde se hace una introducción al campo de la espintrónica, el cual tiene por objeto de estudio el comportamiento del espín, cuyos estados constituyen el fundamento del cúbit o bit cuántico.

En la UC tienen líneas de investigación en materia condensada, física computacional, teoría de algoritmos, entre otras áreas afines. En la UCV se encuentra el Laboratorio de Física Teórica en Sólidos enmarcado en el área de la física de la materia condensada que abarca ejes de investigación en superconductividad y nanociencias. Se puede observar que existen un

conjunto de experiencias y conocimientos acumulados que pueden ayudar al desarrollo de la nueva computación basada en fenómenos cuánticos.

En este escrito no se pretende afirmar que el país cuenta con las tecnologías e infraestructuras suficientes y adecuadas para afrontar el reto de la computación cuántica; lo que se quiere es mostrar o evidenciar que existe en Venezuela una amplia experiencia en el desarrollo de investigación avanzada, de la cual se puede obtener provecho para enfocarla al estudio del nuevo paradigma de computación, en tal sentido existe en el país la posibilidad de emprender el desarrollo tecnológico emergente.

Independientemente de que no se cuente con los recursos financieros suficientes para desarrollar el hardware de la nueva tecnología cuántica, es posible ir avanzando en los siguientes temas: estudio y desarrollo de los algoritmos cuánticos; impacto en la seguridad de la información; posibles aplicaciones en la mejora de la productividad en yacimientos de minerales o de hidrocarburos naturales; optimización de la distribución de energía a través de las redes eléctricas o sistema eléctrico nacional. Además, es posible ir realizando investigación en el desarrollo de nuevos materiales con aplicaciones en espintrónica. En definitiva, existe un campo abierto de investigación en el cual se puede ir progresando.

En la actualidad, sin necesidad de contar físicamente con un hardware cuántico, es posible poner en práctica algoritmos o construir circuitos cuánticos, a través del kit de desarrollo de software Qiskit creado por la IBM. El software es de código abierto, ofrece también la posibilidad de trabajar con cúbit superconductores o con trampa de iones. En tal sentido, la herramienta es útil para entrenamiento, por tanto, la ausencia de hardware cuántico en los centros de investigación no representa una limitante para dar inicio al estudio formal de la computación cuántica.

## **Conclusión**

Existe en Venezuela instituciones universitarias y centros de investigación con experiencia en investigación avanzada. Las experiencias en el desarrollo de conocimiento pueden enfocarse al estudio del nuevo paradigma de computación; en tal sentido existe en el país la posibilidad de emprender el desarrollo tecnológico emergente, así que la interrogante con que inicia este escrito se transforma ahora en una afirmación: sí es posible desarrollar computación cuántica en Venezuela.

## **Reflexiones finales**

En principio, se puede reflexionar que la tecnología de la computación cuántica se constituya como un reemplazo a las computadoras o supercomputadoras actuales, pero tal razonamiento no es del todo cierto; de hecho no existe evidencia de la superioridad de las

computadoras cuánticas sobre sus contrapartes clásicas (Hagar & Cuffaro, 2019). Por supuesto, podría representar una alternativa tecnológica al proceso de miniaturización, sin embargo, lo que realmente representa la computación cuántica es, ser un nuevo paradigma de hacer computación utilizando la teoría de la mecánica cuántica.

La computación cuántica es un campo aún por explorar, el uso y manipulación de fenómenos cuánticos, representan desafíos respecto a su tratamiento en las puertas lógicas cuánticas, por ende en el desarrollo de algoritmos cuánticos. A futuro promete un amplio campo de aplicaciones en genética, farmacología, imagenología, ciberseguridad, industria del gas y del petróleo. Venezuela tiene el potencial para desarrollar la nueva tecnología y ejercer soberanía sobre la misma; solo falta el empuje energético por parte del Estado, la articulación armoniosa entre todas las instituciones y la creatividad para hacer frente a uno de los retos tecnológicos más importantes en la presente y siguiente década.

## Referencias

- Aguilar, J. (2013). *Otros algoritmos: Sistema Inmunológico Artificial, Computación Cuántica, Computación Molecular*. Presentaciones para actividad docente. Recuperado desde <http://www.ing.ula.ve/~aguilar/actividad-docente/IAA/transparencias/Clase9.pdf>
- Allende, M. & Da Silva, M. (2019). *Tecnologías cuánticas: Una oportunidad transversal e interdisciplinaria para la transformación digital y el impacto social*. BID. Recuperado desde <https://bit.ly/3vj5PNe>
- Bedoya, G. (2001). Nuevos retos del futuro tecnológico: la nano electrónica y el auto ensamblaje. Biblio 3w. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 6(322). Recuperado desde [http://www.ub.edu/geocrit/b3w-322.htm#N%C3\\_](http://www.ub.edu/geocrit/b3w-322.htm#N%C3_)
- Blatt, R. & Wineland, D. (2008). Entangled states of trapped atomic ions. *Nature*, (453), 1008-1015. Recuperado desde <https://tf.nist.gov/general/pdf/2284.pdf>
- Bohr, N. (1935). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? *Physical Review*, 8(48), 696-702. Recuperado desde <https://doi.org/10.1103/physrev.48.696>
- Bourzac, B. (15 de abril de 2019). Upgrading the quantum computer. Recuperado desde <https://cen.acs.org/materials/electronic-materials/upgrade-quantum-computers-researchers-look/97/i15>
- Clarke, J. & Wilhelm, F. (2008). Superconducting quantum bits. *Nature*, (453), 1031-1042. Recuperado desde <https://www.nature.com/articles/nature07128#citeas>
- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B. & Laloe, F. (1991). *Quantum Mechanics*. Wiley-Vch.
- Gautreau, R. (1999). *Schaum's Outline of Modern Physics*. McGraw-Hill.
- Hagar, A. & Cuffaro, M. (2019). Quantum Computing. Recuperado desde <https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/qt-quantcomp/>

- López, F. (2020). ¿Cómo funciona la computación cuántica? Recuperado desde <https://blogs.iadb.org/conocimiento-abierto/es/como-funciona-la-computacion-cuantica/>
- Massachusetts Institute of Technology. (s.f.). Learning Quantum Computing. Recuperado desde <http://www.mit.edu/~aram/advice/quantum.html>
- Mollick, E. (2006). Establishing Moore's Law. *IEEE Annals of the History of Computing*, 3(28), 62-75. Recuperado desde <https://doi.org/10.1109/MAHC.2006.45>
- Montanaro, A. (2016). Quantum algorithms: an overview. *npj. Quantum Information*, 2(15023). Recuperado desde <https://doi.org/10.1038/npjqi.2015.23>
- Moskvitch, K. (2021). Fraunhofer se pasa a la cuántica: El Quantum System One de IBM llega a Europa. Think. Recuperado desde <https://www.ibm.com/blogs/think/es-es/2021/06/15/fraunhofer-se-pasa-a-la-cuantica-el-quantum-system-one-de-ibm-llega-a-europa/>
- Shor, P. (1994). Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. *Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, 124-134. Recuperado desde [doi:10.1109/SFCS.1994.365700](https://doi.org/10.1109/SFCS.1994.365700)
- Sutter, P. (19 de diciembre de 2017). The Weird Quantum Property of Spin. Recuperado desde <https://www.space.com/39152-weird-quantum-property-of-spin.html>
- Vahapoglu, E., Slack-Smith, J., Leon, R. y col. (2021). Single-electron spin resonance in a nanoelectronic device using a global field. *Science Advances*, 7(33). Recuperado desde <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg9158>
- Varona, B. (2 de julio de 2020). Tecnologías de las computadoras cuánticas - Parte I. Recuperado desde <https://www.techedgegroup.com/es/blog/tecnologias-computadoras-cuanticas>
- Villarreal, M., Grima, P., Briceño, J. y col. (2012). *Una introducción a la espintrónica*. Universidad de Los Andes. Recuperado desde <https://bit.ly/3zg7GCT>
- Webb, R. (s.f). Superconductivity. Recuperado desde <https://www.newscientist.com/definition/superconductivity/>
- Wilczek, F. (28 de abril de 2016). Entanglement Made Simple. Recuperado desde <https://www.quantamagazine.org/entanglement-made-simple-20160428/>