

Segunda revolución cuántica y el desarrollo de nuevas tecnologías

Second quantum revolution and the development of new technologies

María Camila Vásquez Monterroza¹, Orlando José García Mojica²,
Dairo Alfredo Causil Zúñiga³

Resumen

El presente artículo es una revisión bibliográfica o bibliométrica de la Mecánica Cuántica, su importancia y su evolución a través de los tiempos, convirtiéndose en una de las principales ramas de la ciencia con sus aplicaciones tecnológicas, así como los nuevos avances que ha traído este concepto y sus aplicaciones. Es por ello por lo que se enmarca el año 1900 como inicio de una nueva era, es decir, antes de esta fecha la Física era regida por la Mecánica Clásica, Electrodinámica Clásica y la Termodinámica; luego de ello, se iniciaron los estudios de las leyes de la Física aplicada a cuerpos de escala atómica y subatómicas. Se pretendió conocer a fondo las leyes naturales que dominan el mundo a esta escala, ciencia a la que se le llamó Mecánica Cuántica. Esto dio origen a la explicación de fenómenos efecto fotovoltaico, efecto túnel, nanoestructuras, el spin, entre otros, con lo cual fueron desarrolladas tecnologías como microscopio túnel, células fotovoltaicas, la ciencia de los semiconductores. Se inventó el diodo, el transistor, los microprocesadores y el láser. Con el desarrollo del transistor, evoluciona la electrónica de un sistema análogo a uno digital, nacen los computadores y las calculadoras. Actualmente, el hombre se está preparando para vivir una Segunda Revolución Cuántica, que buscará dar respuestas a interrogantes que aún no se han logrado descifrar por medio de la Mecánica Clásica, ya que el objetivo en esa época era estudiar las leyes que regían el mundo, mientras que en esta nueva era se busca manipular los sistemas atómicos independientes, lo que da origen a nuevas Tecnologías Cuánticas

1 Ingeniera Industrial egresada de la Corporación Universitaria del Caribe CECAR. Correo: maría.vasquezmo@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7498-2260>

2 Doctorado en Universidad Central. Mg. en Matemáticas de la Universidad de Oriente; Matemático de la Universidad de Oriente. Correo: Orlando.garciam@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7235-2847>

3 Magíster en Ciencias físicas de la Universidad de Sucre; Físico de la Universidad de Córdoba. Correo: dairo.causil@cecar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6651-7913>

con paradigmas diferentes. Países como China, los de la Unión Europea y Estados Unidos, son pioneros en la búsqueda de información y en la puesta en marcha de los nuevos conocimientos, mientras que Colombia sigue en busca del nuevo conocimiento por medio de universidades o comunidades científicas que se dedican su estudio. Cabe resaltar que el propósito principal de este artículo es investigar las aplicaciones de la Mecánica Cuántica y los estudios que se han adelantado, debido a que los países que han avanzado en investigación y aplicaciones no publican todo el conocimiento, sino parte de este, es decir, la información es limitada.

Palabras clave: Mecánica Clásica, Mecánica Cuántica, entrelazamiento, superposición, nuevos conocimientos, países pioneros, revolución, Tecnologías Emergentes

Abstract

This article consists of a bibliographic or bibliometric review of Quantum Mechanics, its importance and its evolution through time, becoming one of the main branches of science with its technological applications, as well as the new advances that this has brought. concept and its applications, among others. It is for this reason that the year 1900 is framed as the beginning of a new era, that is, before this date, Physics was governed by Classical Mechanics, Classical Electrodynamics and Thermodynamics. After that, the studies of the laws of Physics applied to atomic and subatomic scale bodies began. It was intended to know in depth the natural laws that dominate the world on this scale, a science that was called Quantum Mechanics. This gave rise to the explanation of phenomena photovoltaic effect, tunnel effect, nanostructures, spin, among others, with which technologies such as tunnel microscope, photovoltaic cells, the science of semiconductors, etc. were developed. The diode, the transistor, microprocessors and the laser were invented. With the development of the transistor, electronics evolved from an analog system to a digital one, computers, calculators and others were born. Currently, man is preparing to live a Second Quantum Revolution, which will consist of giving answers to questions that have not yet been deciphered through Classical Mechanics, since the objective at that time was to study the laws that governed the world, while in this new era it seeks to manipulate independent atomic systems, which gives rise to new quantum technologies with different paradigms from the classical one. Countries like China, those of the European Union and the United States are pioneers in the search for information and in the implementation of new knowledge, while Colombia continues in search of new knowledge through universities or scientific communities that are dedicated to the study of it. It should be noted that the main purpose of this article is to investigate the applications of Quantum Mechanics and the studies that have been carried out, because the countries that have advanced in research and applications do not publish all the knowledge but only part of it, that is, information is limited.

Keywords: Classical Mechanics, Quantum Mechanics, entanglement, superposition, new knowledge, pioneering countries, revolution, Emerging Technologies

Introducción

La Teoría Cuántica nace a principios del siglo XX, como respuesta a fenómenos imposibles de explicar por medio de la mecánica clásica, tales como la distribución de líneas espectrales y la radiación del cuerpo negro fueron el impulso para que los científicos de la época realizaran experimentos y prácticas matemáticas, que ayudaran a resolver o dar una explicación lógica a este tipo de fenómenos. Por tanto, los físicos se dan a la tarea de realizar estudios y prácticas de laboratorio, con el fin de generar nuevo conocimiento y explicaciones a lo que no se podía descifrar (Cala & Eslava, 2011).

Ahora bien, iniciamos hablando de la Mecánica Clásica como formulación mecánica que estudia las leyes de las partículas físicas, macroscópica y a velocidad menor que la luz; en esa etapa se puede decir que la humanidad estaba guiada únicamente por los sentidos y se regía por elementos básicos de la mecánica, entre ellos, las teorías de Mecánica de Movimiento de Newton, que describe las leyes de Inercia, Dinámica y Acción y Reacción. La primera dice que si la suma de las fuerzas es diferente de cero (0) el objeto acelera; la segunda explica que la fuerza es proporcional al cambio; y la tercera expone que si un cuerpo aplica una fuerza a un segundo cuerpo, este segundo le aplica la misma fuerza al primero (Abramson, 2018).

Luego, entonces, se tiene la teoría Electromagnética Clásica descrita completamente por las ecuaciones de James Maxwell. Esta teoría une los efectos magnéticos y eléctricos, y describe fenómenos reales tales como la luz, las máquinas eléctricas, la fibra óptica, el motor, el transformador, entre otros. Maxwell describe dichos fenómenos por medio de sus ecuaciones, que relacionan los campos magnéticos y eléctricos y sus fuentes materiales. Todo esto dio origen a una revolución final de las comunicaciones (Cordero, 2017).

También, se hace énfasis en la Termodinámica, que surge como producto de la Revolución Industrial y se ocupa de la transformación de los cuerpos cuando hay transferencia de energía, es decir, transformaciones de energía en calor y trabajo de sistemas macroscópicos. Ejemplo, un cuerpo A en equilibrio con B y B en equilibrio con C, automáticamente C está en equilibrio con A (Romero, 2014).

Inicios de la Mecánica Cuántica

Entendiendo los conceptos anteriores, damos inicio a la era de la Mecánica Cuántica, la existencia de ondas o partículas subatómicas, el cambio de lo clásico a lo cuántico, donde no se cambian las cosas, solo se trabaja en verlas de forma diferente, con otros paradigmas, igual tecnologías mejores sistemas; un ejemplo de ellos es el paso de la antorcha a la bombilla, del coche de caballos a vehículos, entre otros.

Por su parte, la Mecánica Cuántica, como se expuso al inicio del escrito, surge como la explicación a eventos o fenómenos atómicos que no se pueden explicar por las teorías clásicas; esta nace con la explicación de la Radiación del Cuerpo Negro, el Principio de Incertidumbre y el Efecto Fotoeléctrico (Álvarez, 2016).

Ahora bien, los descubrimientos de Max Planck (ganador del Premio Nobel de Física en 1918 debido al descubrimiento de la Teoría Cuántica), Albert Einstein, Erwin Schrödinger, sus descubrimientos y análisis dieron lugar a las explicaciones matemáticas que se desarrollaban a inicio del siglo XX. Fue precisamente Planck quien con sus teorías dio el nombre de Revolución Cuántica, cuando dijo que la energía no se liberaba de forma cuántica sino por paquetes energéticos o “cuánticos”, siendo esta una nueva constante de frecuencia por radiación, teoría complementada por Einstein por medio del Efecto Fotoeléctrico. Luego, el paradigma se volvió desconcertante ya que inicialmente se conocía la luz como onda, hasta que Einstein dedujo que también se comportaba como partícula. Esto fue el inicio de la Primera Revolución Cuántica, de donde surgió el láser, el transistor o los microprocesadores; asimismo, relucen dos fenómenos importantes el entrelazamiento y la superposición. Sin embargo, aún había mucha más información cuántica por descifrar (Castro, 2019).

Resulta importante hablar del Efecto Compton, creado por Arthur Holly Compton. Este efecto se da cuando un fotón choca con un electrón y ambos toman diferentes direcciones, perdiendo en el choque parte de su energía, es decir, que la energía perdida por un fotón es igual a la que gana el electrón y la cantidad de movimiento del fotón original es igual a la cantidad del movimiento del electrón más la cantidad del movimiento del nuevo fotón (Gómez *et al.*, 2000). Por otra parte, se tiene la hipótesis De Broglie sobre las ondas de materia. Esta explica que los electrones y demás partículas pueden comportarse como onda, de donde surge el concepto que todo lo que existe es, al mismo tiempo, onda y materia (hiru.eus, 2018).

Seguido a ello, Schrödinger desarrolla la ecuación de ondas de materia que se ajusta a los postulados de Broglie, y que explica el comportamiento de los electrones dentro de los átomos, y que se explican tratándose matemáticamente como ondas de materia.

Ahora bien, resulta importante revisar bibliografías que se han desarrollado en torno al tema de Mecánica Cuántica, con el fin de explicar de qué trata esta temática.

Autor	Resumen investigación
(Angulo-Brunet, 2017)	La naturaleza cuántica se observa en las cosas cotidianas; encontramos que un teléfono móvil no podría existir sin la ciudad cuántica; una de las afirmaciones del escritor sería quien posea un ordenador cuántico podrá descifrar todas las transacciones secretas que se realizan por internet, y las que se realizaron en el pasado y han sido almacenadas a la espera de un progreso disruptivo en el descifrado de la criptografía actual.
(Molina, 2017)	La Física cuántica describe las leyes de lo muy pequeño como partículas elementales, átomos, moléculas y también conjunto de átomos; vivimos en la era de la información gracias a la primera Generación Cuántica, nuestros conocimientos de Física cuántica están en la base de la revolución tecnológica que ha llevado a esta nueva era, la primera revolución dio inicio al transistor, el láser, tomografía por resonancia magnética, células fotovoltaicas (energía solar), Microscopía avanzada (electrónica, efecto túnel, ...), entre otros.
(Agüero, 1998)	La tecnología de la computación ha evolucionado rápidamente a consecuencia de los descubrimientos secuenciales hechos por los humanos ávidos de conocimientos: desde los engranajes hasta los circuitos integrados complejos.
(Allende, 2019a)	Se explica la tecnología cuántica, sus inicios, las diferencias con las tecnologías clásicas, su impacto en la sociedad, como han evolucionado los campos de la tecnología, la cibernética, inteligencia artificial y demás; así como este mundo ayuda a almacenar de manera segura la información.
(Tobar <i>et al.</i> , 2021)	La ingeniería cuántica hace referencia al desarrollo de la tecnología basada en la Física cuántica, es decir, en las leyes físicas que describen el mundo a escala microscópica. El marco matemático proporcionado por la teoría de la información cuántica, junto con los avances experimentales en la preparación y manipulación de sistemas de tamaños muy pequeños, ha abierto el camino hacia la llamada segunda Revolución Cuántica, que anuncia cambios radicales en la tecnología.

Autor	Resumen investigación
(Vega, 2021)	La Teoría Cuántica ha sido asombrosamente exitosa por aproximadamente un siglo en la explicación de fenómenos a escalas atómicas. Más aún, ha permitido abrir nuevos caminos en el desarrollo de tecnologías; láseres, dispositivos semiconductores, paneles solares, y resonancia magnética, por mencionar algunos ejemplos. La aplicación directa de las leyes cuánticas al procesamiento de la información promete revolucionar también el sector de la tecnología de la información y la comunicación, lo que algunos autores han denominado la era de las “Tecnologías Cuánticas 2.0”.
(Gómez <i>et al.</i> , 2022)	La Mecánica Cuántica es la primera teoría que permite a las personas comprender el mundo microscópico de la materia (es decir, los átomos); a diferencia de la mecánica clásica, no asigna valores precisos a los valores observables del sistema, sino que solo asigna probabilidades a cada valor posible. La Mecánica Cuántica no sólo nos permite comprender los átomos, sino que también introduce un nuevo mundo de conceptos e ideas, muchos de los cuales son inverosímiles a primera vista.
(Lawler, 2022)	Inicialmente resulta incomprensible el concepto de entrelazamiento cuántico para los físicos de la época, el poder enviar información de una partícula a otra y que la segunda tuviera la información al instante fue algo nuevo, revolucionario y hasta aterrador; el saber que las dos partículas no tenían el mismo color, pero si eran idénticas porque surgen de un mismo fotón fue todo un récord explicarlo y hacerlo entendible para todos.

Es importante resaltar “la edad dorada de la Física”, término dado por algunos historiadores, la cual surge con la Revolución Cuántica (a lo que algunos historiadores la llaman la Primera Revolución Cuántica) en los años 1900, cuando el nuevo concepto cuántico estudia y explica el mundo microscópico, átomos, moléculas, fotones y electrones. Su estudio matemático y físico reveló que los fenómenos microscópicos tienen cabida en el mundo macroscópico; en esta primera revolución se estudió el transistor, el láser, la tomografía por resonancia magnética, las células fotovoltaicas (energía solar) y microscopía avanzada, como es el caso del efecto fotoeléctrico y el efecto túnel.

Efecto fotoeléctrico

Este efecto consiste en la emisión de electrones por un material, cuando incide sobre él radiación electromagnética (Rodríguez & Cervantes, 2016). Dicho efecto se encuentra ligado con el comportamiento de la materia como onda y partícula; es importante resaltar el trabajo de autores como Heinrich Hertz, quien realizó un experimento que se basaba en crear una chispa con una bobina de inducción y determinar los efectos de la radiación electromagnética, aunque esta no tuvo el éxito que el autor quería. Sin embargo, dio lugar a que el físico Wilhelm Hallwachs repitiera el experimento modificando, aunque sin teoría, y el autor clarificara el fenómeno (Celis *et al.*, 2020).

Ahora bien, resulta interesante saber que el efecto fotoeléctrico esté inmerso en aparatos tecnológicos que se usan en la vida cotidiana día a día, como cámaras, relojes, calculadoras, el cine, en detectores de movimientos, sensores digitales y hasta en los detectores de alcoholímetros (Celis *et al.*, 2020). Por tanto, podemos decir que la sociedad necesita de la Física para seguir en la búsqueda del conocimiento y en el descubrimiento de aparatos que ayuden al desarrollo de la vida misma, siendo este un gran emisor de energía.

Efecto túnel

El efecto túnel consiste en la descripción de cómo una partícula con una energía dada atraviesa una barrera potencial; esto es posible debido al carácter ondulatorio del electrón, lo que no tendría explicación en la Física Clásica (Mamedaliev, 2012). Se puede decir que la mayor parte de la electrónica tiene como base este efecto.

Por su parte, los inventores Gerd Binnig y Heinrich Rohrer en 1981 logra hacer visibles los átomos gracias al microscopio de efecto túnel, el cual, gracias a su resolución de profundidad, los átomos dentro de la materia son visibles y manipulados; con base en esta técnica, se han desarrollado la microscopía de escaneo de fotones, microscopía de efecto túnel de espín polarizado y la microscopía de fuerza atómica (Wikipedia, 2020).

Ahora bien, con la primera Revolución Cuántica se conocieron las leyes que describen las características de los semiconductores, nanoestructurados y el spin.

Por su parte, *los semiconductores* son materiales capaces de actuar como conductores de energía o aislantes eléctricos, dependiendo de condiciones como temperatura y presión, y las intensidades del campo eléctrico y magnético con el cual interactúa el material. Estos son usualmente utilizados en la electrónica, se emplean en láseres de diodos, sensores ópticos, amplificador de guitarras eléctricas, entre otros; además, existen semiconductores de tipo intrínseco y semiconductores extrínsecos, dependiendo del entorno físico donde se encuentran (Coluccio, 2021).

Encontramos, *las nanoestructuras*, que son estructuras con medidas muy pequeñas clasificadas de 1 a 100 nanómetros; en ellos encontramos el transistor, que modifica una señal de salida como respuesta a una señal de entrada; los microprocesadores, unidad principal de un ordenador; el láser, por su parte, que es un efecto de la Mecánica Cuántica que genera un rayo de luz gracias a la estimulación eléctrica; este último es importante para procedimientos en la medicina, escaneo de códigos, comunicaciones, entre otros.

Por último, tenemos el Spin: este término hace referencia a que toda partícula elemental tiene un momento intrínseco de valor fijo, indica los posibles giros de la partícula (Enciclopedia Colaborativa en la Red Cubana EcuRed, 2020), y un ejemplo de ello es cuando dos protones interactúan de manera directa entre sí, es decir están entrelazados y al modificar uno de ellos el otro inmediatamente se modificará; se comportan como imanes. Un fenómeno físico basado en esta propiedad es la aplicada en la Resonancia Magnética.

Ahora bien, abarcados ya los temas de la Revolución Cuántica, centramos nuestra visión a una nueva era, la Segunda Revolución Cuántica, sus principios, aplicaciones y el desarrollo de nuevas tecnologías, lo cual ha sido un reto y un propósito para algunos países que buscan tener la vanguardia en estos temas, con el fin de desarrollar nuevas comunicaciones imposibles de hackear.

Segunda revolución cuántica

En los últimos años está bien documentada lo que se conoce como la Segunda Revolución Cuántica. Los físicos buscan la manera de aplicar las leyes que ya existen, con el fin de manipular sistemas cuánticos individuales como átomos, moléculas, fotones y electrones, y el aprovechamiento de los fenómenos de entrelazamiento, superposición y el principio de incertidumbre.

Entrelazamiento y superposición cuántica

Ahora bien, descritos ya los primeros inicios de la Mecánica Cuántica resulta oportuno estudiar los fenómenos de entrelazamiento y superposición cuántica, conceptos que han sido muy importantes para dar explicaciones a fenómenos de la humanidad y que sin duda alguna serán el principio de la Segunda Revolución Cuántica.

Por su parte, el *Entrelazamiento Cuántico* describe cuando dos partículas cuánticas (moléculas, átomos, partículas subatómicas) están perfectamente correlacionadas, independiente de la distancia que haya entre ellas. Por ejemplo, un fotón atraviesa un cristal espacial da lugar a dos fotones; las dos partículas que surgen del resultado están entrelazadas, ya que surgen de un mismo fotón; si se mide un fotón el otro estará afectado (Lawler, 2022).

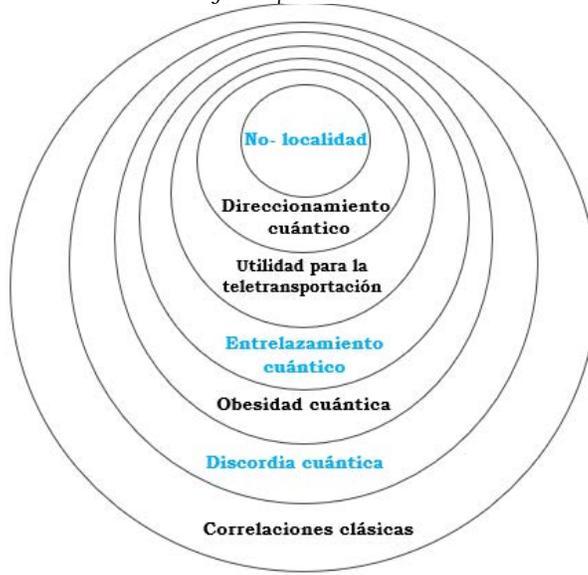
Por tanto, se conoce que el Entrelazamiento Cuántico es la base de las tecnologías que se utilizan en el desarrollo de la computación cuántica, la criptografía y se está trabajando en la Teleportación Cuántica gracias a este fenómeno (Pinargote *et al.*, 2020).

Dicho lo anterior, abordaremos el tema de *Superposición Cuántica*. Este término resulta de la medición de una magnitud cuántica; la situación para medir no se encuentra definida, por ende, se dice que el estado es suspendido o indefinido, por ejemplo, si se va a medir el estado de un electrón: al momento de medirlo el electrón puede no estar en ningún sitio o en todos los sitios a la vez, solo tendrá valor al ser medido. Mientras que en el mundo clásico se pueden conocer los estados antes de ser medio el electrón. Un ejemplo clave sería el estado de un semáforo; en el semáforo clásico se sabe sin mirarlo que el estará en alguno de los tres estados posibles (amarillo, verde o rojo), mientras que en si el semáforo estuviera en un sistema cuántico, este se encontraría simultáneamente en los tres estados; solo después de observarlo, el semáforo estará en uno de los tres estado (Enginyeriainformatica, 2016).

Por último, el principio de incertidumbre de Heisenberg, en términos de Física Cuántica, afirma que no se puede determinar las variables físicas como la posición y el momento lineal de un objeto (García, 2019).

Cuando se tiene dos sistemas cuánticos que interactúan, surgen fenómenos que llamaremos “correlaciones cuánticas” que, en un orden jerárquico, lo muestra la siguiente figura; estos fenómenos es lo que da origen a los recursos cuánticos que se utilizan para el desarrollo de nuevas tecnologías.

Ilustración 1. Jerarquía de recursos cuánticos.



Tecnologías cuánticas

Luego de conocer los principios de incertidumbre, superposición y entrelazamiento cuántico, seguimos hacia las Tecnologías Cuánticas, Estas aprovechan las propiedades del mundo microscópico, ejemplo de ello es que los átomos pueden estar en cualquier posición gracias al principio de superposición cuántica; existen tres tecnologías que son muy importantes en la actualidad y van enfocadas a la Medicina, la Biología y la Genética: estas son la *computación cuántica*, la *simulación cuántica* y la *óptica cuántica* (Allende, 2019b).

Ahora bien, con las Tecnologías Cuánticas se busca ser capaz de hacer tareas con sistemas cuánticos controlados para dar respuestas a problemas que impliquen una mayor complejidad y que no puedan ser resueltos por ordenadores clásicos (Sánchez, 2021). Asimismo, su objetivo, es aprovechar la función de onda *qubit* y de los conceptos ya mencionados de superposición y entrelazamiento; cabe resaltar que las Tecnologías Cuánticas son amplias y tiene ramas tales como teorías cuánticas de información, criptografía cuántica, óptica atómica, litografía cuántica, electrónica cuántica molecular, computadores cuánticos, láseres atómicos, fotónica cuántica, entre otros (Rodríguez, 2021).

Por otra parte, se sabe que las empresas trabajan en las tecnologías emergentes con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas por medio de aparatos capaces de realizar tareas complejas, por medio de *Blockchain*, que nace con la idea de tener un registro digital de audios, videos o texto en orden cronológico. La *Inteligencia Artificial* es la capacidad de las máquinas para acercarse hacer cosas iguales los seres humanos, como aprender, planificar y resolver problemas; asimismo, la *Impresión 3D* se basa en realizar objetos tridimensionales (Allende, 2019a).

Computación cuántica

En el año 1985 David Deutsch descubre el primer computador cuántico universal, el cual era capaz de simular cualquier computador cuántico. De ahí, surge el ideal de que cualquier computador cuántico puede hacer diferentes algoritmos cuánticos, pero es hasta 1997 que se realizan los primeros experimentos, los cuales han dado lugar a los avances que se tienen hoy día (Moret, 2013).

La computación cuántica es un paradigma distinto a la computación clásica; se basa en la aplicación de cubits, una combinación de unos y ceros; cabe mencionar, que los bits son la unidad básica de la computación clásica formada por ceros y unos, mientras que los cúbits son la combinación de ceros y unos al mismo tiempo gracias a la superposición cuántica, con lo cual se da espacio a nuevos algoritmos (Vanegas, 2016).

Por su parte, el físico David DiVincenzo, en el año 2020, publicó una serie de requisitos que según él debe cumplir un computador cuántico para poder lograr el objetivo que estos tienen. Primeramente, el sistema debe ser escalable con qubits bien caracterizados; también, debe permitir preparar un estado inicialmente genérico. En cuanto a tiempos de coherencia, estos deben ser largos con el fin que pueda realizar un mayor número de operaciones. Además, es ideal que se tenga un conjunto de puertas cuánticas que permitan hacer operaciones lógicas. Asimismo, que tengan una forma de medir qubits sin necesidad de extraer la información del computador; también tener un sistema para la conversión de qubits de almacenados a mensajeros y, por último, los qubits transmitidos sean creídos (Ibáñez, 2020).

Ahora bien, el primer experimento de comunicación cuántica se realizó en el año 1997, a una distancia de 23 kilómetros, siendo todo un éxito para la humanidad. Posteriormente, en el año 2011, la empresa D-Wave System vende a Lockheed Martin la primera computadora cuántica, por un valor de 10 millones de dólares (Moret, 2013).

Por su parte, cabe resaltar algunas aplicaciones de la computación cuántica, como es el caso de la Optimización de Rutas; mediante el algoritmo que se desarrolle se puede obtener la ruta más factible en el que se obtendrá una disminución en los tiempos. Asimismo, la Optimización en Procesos de Manufactura, por ejemplo, a la hora de armar

un motor mediante las computadoras se puede hacer un gráfico de acción sobre el que se montará todo el proceso; también se puede realizar la Secuencia y Comparación de Moléculas.

Ahora bien, hay empresas tecnológicas que han contribuido al desarrollo de la computación cuántica como lo es *IBM*; en 2019, fue la primera compañía en ofrecer servicios de Quantum Computing a nivel comercial: brindó una plataforma que le permite a los usuarios realizar experimentos para probar teorías por medio de la computadora de cinco qubits; además ofrece un software de código abierto para programar los computadores cuánticos. Por su parte, *Rigetti* ha tenido grandes novedades en hardware de computación cuántica y los usuarios pueden acceder a un chip de última generación, y ha estado explorando el permitir a sus clientes acceder a un tercer estado energético de hardware de superconducción (De Juana, 2022). Por su parte, *Microsoft* alude que ha estado trabajando en el desarrollo de una computadora cuántica; se apunta a un desarrollo integral, permitiendo cálculos más grandes. En uno de sus artículos habló de las cuasipartículas llamadas aniones abelianos de manera teórica y en 2015 avanza en la idea y publican una nueva idea de procesadores abelianos que se pueden aplicar en computadores cuánticos de todo tipo (Pastor, 2022). También, *Intel*, en 2015, firmó acuerdos de colaboración con QuTech que abarcan sistemas cuánticos, desde procesadores, hardware y software. Por último, se tiene a *Google*, quien presentó Bristlecone, un procesador cuántico de 72 qubits y esta empresa trabaja con la NASA en el desarrollo del ordenador cuántico D-Wave (Ibáñez, 2020).

Resulta importante el saber que las grandes empresas trabajen en el adelanto de computadores cuánticos con capacidades rigurosas para el desarrollo de cálculos grandes y potenciales. La empresa Rigetti Computing desarrolló una plataforma en la nube que facilita desarrollar algoritmos cuánticos (Ibáñez, 2020), lo cual permite a la humanidad adquirir nuevos logros por medio de los computadores cuánticos, avances en medicina, biología, ingeniería y demás carreras que avanzan gracias a investigaciones cuánticas.

Teleportación cuántica

La teleportación cuántica se define como la tecnología de poder transportar un estado cuántico a una localización cualquiera, por medio del entrelazamiento cuántico, término fundamental en este fenómeno; ahora bien, para teletransportar una partícula hay que destruirla en el proceso para conocer las partículas cuánticas que lo integran, por tanto, existen unos principios de teleportación cuántica, que son obtener todas las propiedades del objeto y enviar la información en forma clásica, a donde se desee hacer el objeto exactamente idéntico al primero (Pineda , 2012).

Ahora bien, investigadores de la Universidad Nacional de Australia lograron realizar la primera teleportación cuántica por medio de un haz de rayo láser pasándolo de una mesa a otra, el primer rayo de luz fue destruido para poder conocer sus partículas y así a un metro de este se crea la copia exacta de ese rayo láser (Bar, 2020).

Por otra parte, el austriaco Anton Zeilinger obtuvo un nuevo logro en la teleportación de los estados cuánticos, al teletransportar a una distancia de 143 kilómetros entre las islas de Tenerife y La Palma, lo que se hizo fue obtener la información del primer cubits y enviarlo por un medio clásico para teletransportarse; una vez se tuvo la información en el segundo cubits, ocurrió el fenómeno de teleportación, destruyéndose el primero y replicándose en el segundo y como lo explicaron algunos físicos (Villatoro, 2012).

También, se evidencia el entrelazamiento que se realizó desde China hacia una órbita sincrónica al sol: lo que se hizo fue enviar una información por medio de un satélite llamado Micius, que es un receptor de fotones capaz de detectar el estado cuántico de estas partículas disparadas desde el suelo; así, el equipo creó la primera red cuántica de satélite a tierra por medio de una distancia de 1.400 kilómetros, aunque el ruido es uno de los principales factores de interferencia para lograr los propósitos que se buscan (Ren *et al.*, 2017).

Asimismo, investigadores de la NASA realizan una teleportación cuántica a través de cables de qubits de fotones por medio de un cable de fibra óptica, a una distancia de 44 kilómetros, con una fidelidad de 90%; esta red fue posible con equipos listos para usar y que son compatibles con las bases de internet existentes (Lopez, 2021a).

Criptografía cuántica

La criptografía cuántica es una de las aplicaciones importantes en la computación cuántica que ayuda a enviar información de manera segura; su unidad principal de la formación es el quantum bit o qubit, que es el estado de ceros y uno; la potencia de la computación se basa en el paralelismo cuántico (tomar valores de 0, 1 y combinaciones de ambas) (García & García, 2005).

Ahora bien, la codificación normal no cuantifica y puede funcionar de diversas formas, pero se cifra un mensaje que solo se descifra mediante la clave secreta; gracias al principio de Heisenberg impide que un tercero descifre los fotones sin cambiarlos o destruirlos y si se intenta hackear la información esta será destruida.

Cabe mencionar el logro que se llevó a cabo entre la Universidad Tecnológica de Delft y el Organismo Neerlandés de Ciencias Aplicadas (TNO); esta unión logró una comunicación cuántica entre tres actores a los que llamo Alice, Bob y Charlie; los nodos de Alice y Bob se encontraban en dos laboratorios separados por varios metros entre sí y conectados por fibra óptica, mientras Bod está conectado paralelamente con Charlie,

por lo que Alice y Charlie no pueden hablarse; ahora bien, primeramente se entrelazan Alice y Bob, y la pareja de Bob y Charlie y a través del intercambio intrincado se logra entrelazar a Alice y Charlie, aunque estos últimos no estaban conectados físicamente se logró el intercambio de mensajes entre ellos, transmisión que se realizó de manera secreta como bien lo explica el entrelazamiento cuántico, y que explica que cualquier intento de espionaje puede destruir la comunicación (El Tiempo, 2022).

Actualmente, hay un gran avance en el crecimiento de Tecnologías Cuánticas en sectores donde la seguridad debe ser la prioridad y el hackear sea algo imposible (Areitio & Areitio, 2008), como en mensajes secretos, compras por medios de sistemas electrónicos, conversaciones por celulares, retiros de dineros, transferencias electrónicas, claves secretas, entre otras (Ortiz, 2007), haciendo de todos estos procedimientos sean secretos, ya que no pueden existir máquinas o dispositivos de clonación cuántica, es decir, no es posible hacer copias exactas de la información cuántica.

Países pioneros

Por su parte, Arthur Herman historiador que habla sobre Mecánica Cuántica expone que China va a la vanguardia en cuanto a temas cuánticos, ya que esta nación va construyendo redes cuánticas de manera secreta y aunque sus avances importantes no son conocidos por la humanidad, se rumora que traerán graves consecuencias estratégicas a nivel comercial y militar (Díaz, 2023). Asimismo, este país ha invertido muchos más recursos en el tema de Mecánica Cuántica, por encima de países como EE.UU. y la Unión Europea. En 2001 asume la construcción de un laboratorio físico para la formación cuántica; luego en 2004, el equipo de físicos fue el primero en el mundo en lograr entrelazar cinco fotones y una teleportación de destino abierto; en 2016, lanza el satélite llamado Micius al espacio, que fue un gran avance y dio paso, en 2017, para realizar la primera videollamada intercontinental cuántica encriptada. Se puede decir que 2016 fue un gran año para el desarrollo para la comunicación cuántica dentro de la industrial del país (Feng, 2017).

Seguido a ello, Estados Unidos trabaja en aumentar sus estudios y avances en Tecnologías Cuánticas; es por ello por lo que realiza una inversión de alrededor de 29.000 millones en computación cuántica desde 2022 a 2026 (Díaz, 2022). En los últimos años este país busca ser líder en computación cuántica como el procesador de 127 qubits que presentó IBM.

Por su parte, Australia es un país que se ha propuesto alcanzar a liderar la computación cuántica, por tanto, el gobierno ha decidido invertir un estimado de 2.500 millones de euros; seguido a ello, Alemania tiene el Instituto Max Planck de Óptica Cuántica dedicado a la Física y Tecnologías Cuánticas, y en los últimos años el gobierno

ha decidido hacer una inversión de 2000 millones de euros con el fin de crear nuevos ordenadores cuánticos (López, 2021).

Seguidamente, Francia ha destinado 1.000 millones de euros más de lo que invierten las empresas para tener un mayor alcance en temas cuánticos; por su parte, India invierte alrededor de 1.200 millones de euros y tiene como intención tener un ordenador de 50 qubits para el año 2025; en cuanto a Reino Unido, desde 2013 ha estado trabajando en el tema cuántico y el gobierno destina 1.200 millones de euros para tal fin; asimismo, Rusia, Canadá, Corea del Sur destinan recursos económicos para emplearlos a las nuevas tecnologías y ordenadores cuánticos (López, 2021).

En cuanto a América Latina y el Caribe, es importante mencionar que no se ha hecho ninguna inversión en temas exploración y desarrollo de Tecnologías Cuánticas; Brasil y México han desarrollado investigaciones y han publicado información en estos temas, sin embargo, no han desarrollado ningún ordenador cuántico. Entre los años 2013 y 2015, Brasil publicó 104 autores diferentes en temas cuánticos (Allende, 2019a).

Impacto por sectores

Resulta importante resaltar que el documento abarca la temática de Mecánica Cuántica, sus primeras investigaciones, personajes que han trabajado en ella y países que buscan ser pioneros en estos temas; asimismo, las nuevas tecnologías cambiarán la humanidad notablemente en los sectores y ramas tales como medicina, finanzas, economía, transporte y demás; al llegar la segunda Revolución Cuántica estos sectores contarán con herramientas que les ayudaran a desarrollar tareas propias de cada disciplina con mayor eficiencia.

Ahora bien, una de las aplicaciones más importantes de la Mecánica Cuántica ha sido en la *medicina, biología y genética*; el diseño de medicamentos implica la demora en procesos y procedimientos en laboratorios; al contar con una computadora cuántica que facilite el análisis y la simulación de los medicamentos, se supone que se ahorraría tiempos en los procesos, lo cual permitiría el avance y diseño de nuevos medicamentos. En cuanto a la manipulación molecular, se cree que sería de gran ayuda en la lucha contra el cáncer y tumores. Actualmente, esto se detecta por medio de rayos x y por medio de químicos y demás procedimientos que son nocivos para el paciente, por tanto, al llegar a manipular moléculas individuales por medio de la óptica cuántica, se podría interactuar con las células cancerígenas sin necesidad de perjudicar células que se encuentren sanas; también el interactuar con las moléculas ayudará en problemas de Alzheimer, Parkinson y Lou Gehrig; esto sería sin duda un gran avance para la humanidad, el poder salvar vidas y ayudar a tantas familias que padecen dicha enfermedad (Allende, 2019b).

En cuanto a *Economía y Finanzas*, gracias a las finanzas cuánticas se aumentaría la capacidad de análisis de datos y la predicción de forma cuadrática se resolvería en menor tiempo; asimismo, se cuenta con los simuladores cuánticos que hacen posible visualizar los problemas reales con gran número de variables que permiten determinar las pérdidas y ganancias que se tendrán en los negocios, es decir la predicción de crisis financieras (PICTET, 2021).

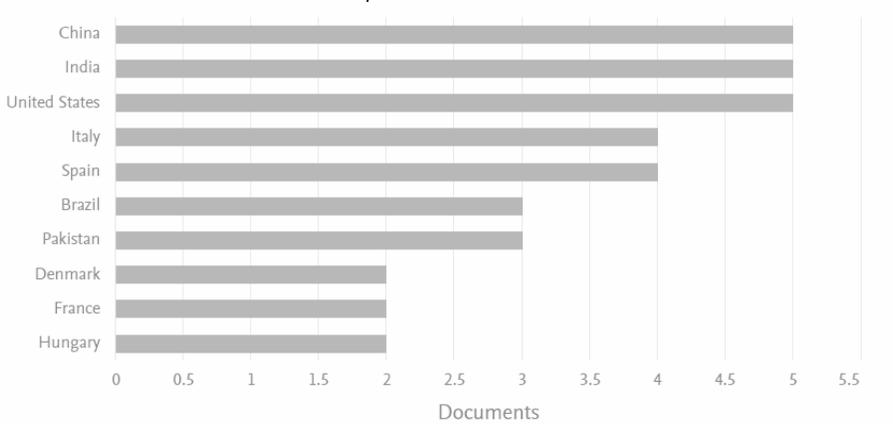
Asimismo, se tienen impactos en *energía, agricultura sostenible y medio ambiente*; el mayor impacto se tiene en la fabricación de amoníacos, sustancia que se usa para fabricar fertilizantes, que su producción consume el 2% de la energía mundial; por tanto, se requiere conocer los procedimientos a nivel molecular para ahorrar ese porcentaje y disminuir el impacto medioambiental negativo de esos procesos y disminuir costos de fabricación. También, el uso de los computadores cuánticos podría disminuir más de 7 gigatoneladas equivalentes de dióxido de carbono en la atmósfera, el estudio de los computadores cuánticos sería una “salvación” para el planeta ya que el objetivo es tener cero emisiones netas y disminuir la temperatura, por otra parte, la agricultura es una de las actividades que genera mayores emisiones de efecto invernadero; es por ello que se está trabajando en hacer una vacuna antimetano que produce anticuerpos contra el metanógeno (DPL NEWS, 2022).

En cuanto a *Educación y Trabajo*, actualmente las naciones están invirtiendo gran cantidad de recursos en estudiar el tema de Tecnologías Cuánticas en universidades y grupos dedicados a investigaciones y demás, ya que esta no podría ser entendida sin estudios previos de la Física.

Conclusiones

Lo largo del documento se ha tratado el tema de la Mecánica Cuántica, sus aplicaciones, primeros indicios, físicos que han dedicado su vida a generar nuevos conocimientos, computación cuántica y su importancia, fenómenos tales como entrelazamiento y superposición cuántica, los países pioneros en esta temática y demás; ahora bien, las Tecnologías Cuánticas nacen para dar soluciones a problemas de la humanidad en ámbitos como la medicina, biología, genética, agricultura, economía, finanzas, energía, agricultura sostenible y medio ambiente, en su afán de manipular o individualizar los sistemas cuánticos son pioneros los países China, India, Estados Unidos, entre otros como lo enumera la siguiente gráfica.

Ilustración 2. Países pioneros en documentación cuántica.



La anterior gráfica enumera los países pioneros en documentación cuántica. Luego de realizar una ecuación booleana e ingresarla en la base de Datos Scopus, encontramos 78 artículos sobre los países que trabajaban en Tecnologías Cuánticas. Luego, se realizó un límite de artículos de 2019 a 2022 y dio como resultado la ilustración 2.

Cabe resaltar, que el aporte de Latinoamérica a nivel gubernamental es cero, y a nivel individual hay mucha investigación en Colombia que se desarrolla mediante grupos de investigaciones de universidades como la Universidad desde el Centro de Investigación e Innovación en Bioinformática y Fotónica (Cibiofi), la Universidad de Córdoba, la Universidad de Sucre y CECAR, los cuales estudian la Mecánica Cuántica y sus aplicaciones.

Por último, las Tecnologías Cuánticas han sido un gran avance para la humanidad, término que aún se encuentra en construcción y que día a día se alimenta desde los países que buscan ser potencia mundial para el manejo de la información y las comunicaciones.

Referencias

- Abramson , G. (2018). *Mecánica Clásica*. Argentina: Instituto Balseiro. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ricabib.cab.cnea.gov.ar/696/1/mecanica_2.pdf
- Aguero, M. (2018). *Computación Cuántica; una nueva revolución de la Física*. Obtenido de file:///C:/Users/braya/Downloads/Dialnet-ComputacionCuantica-5128889.pdf
- Allende, M. (2019). *Tecnologías Cuánticas: Una oportunidad transversal e interdisciplinar para la transformación digital y el impacto social*. Obtenido de https://publications.iadb.org/es/tecnologias-cuanticas-una-oportunidad-transversal-e-interdisciplinar-para-la-transformacion-digital

- Allende, M. (14 de 10 de 2019). *BIG Mejorando Vidas*. Obtenido de Las Tecnologías Cuánticas, una nueva revolución en la medicina: <https://blogs.iadb.org/salud/es/tecnologias-cuanticas/>
- Allende, M. (2019). *BID*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/salud/es/tecnologias-cuanticas/>
- Álvarez, R. (2016). *Una Introducción a la Mecánica Cuántica*. Orthonet, Sevilla. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://euler.us.es/~opap/orthonet16/notas/orthonet-MC.pdf>
- Angulo-Brunet, A. (2017). *El futuro es cuántico*. Barcelona: Editorial Planeta. Obtenido de file:///C:/Users/braya/Downloads/21994-25928-1-PB.pdf
- Areitio, J., & Areitio, A. (2008). *La criptografía cuántica una tecnología clave para la seguridad de red*. Seguridad en Redes. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redeweb.com/_txt/647/68.pdf
- Bar, N. (2020). *Por primera vez en la historia un átomo fue teletransportado*. La Nación. Obtenido de <https://www.lanacion.com.ar/ciencia/por-primera-vez-en-la-historia-un-atomo-fue-teletransportado-nid610975/#:~:text=Hace%20exactamente%2024%20meses%2C%20investigadores,a%20un%20metro%20de%20distancia>.
- Cala, F., & Eslava, É. (2011). *Mecánica Cuántica, sobre su interpretación, historia y filosofía*. (J. Melo, Ed.) Bogotá. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-_mecanica_cuantica-_pag_07-10-15.pdf
- Castro Torres, J. (2019). *La segunda revolución en la Mecánica Cuántica y su aplicación a las tecnologías de la defensa*. España: Instituto Español de Estudios Estratégicos. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2019/DIEEEA25_2019JOSCAS_Cuantica.pdf
- Cervantes, J. (2016). *El efecto Fotoeléctrico*. Mexico. Obtenido de <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7167>
- cheng Zhi, P., Jian Yu, W., & Jian Wei, P. (2017). *Ground-to-satellite quantum teleportation*. Nature. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/nature23675#citeas>
- Coluccio, E. (15 de 07 de 2021). *concepto*. Obtenido de <https://concepto.de/semiconductores/>
- Cordero, P. (2017). *Electromagnetismo*. (F. d. Universidad De Chile, Ed.) Chile: Universitaria. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cec.uchile.cl/cinetica/pcordero/todos/EM_E.pdf
- De Juana, R. (2022). *Seis compañías de computación cuántica a las que seguir la pista en 2022*. MCPRO. Obtenido de <https://www.muycomputerpro.com/2022/01/26/seis-companias-de-computacion-cuantica-a-las-que-seguir-la-pista-en-2022>
- Díaz, J. (25 de 04 de 2022). *El Confidencial*. Obtenido de EEUU advierte que China va por delante en computación cuántica: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novace-no/2022-04-25/china-eeuu-computacion-cuantica_3412816/

- Díaz, J. (20 de 01 de 2023). *El Confidencial*. Obtenido de Descubren cómo transportar energía instantáneamente sin usar cables ni ondas: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2023-01-20/energia-teleportacion-mecanica-cuantica_3560733/
- DPL NEWS. (23 de 08 de 2022). *Computación cuántica podría acelerar la descarbonización de la economía*. Obtenido de Dpl news : <https://dplnews.com/computacion-cuantica-podria-acelerar-la-descarbonizacion-de-la-economia/>
- EcuRed. (2020). *Espín*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Esp%C3%ADn#Esp.C3.ADn_en_la_actualidad
- El Tiempo. (25 de 05 de 2022). *Investigadores logran gran avance hacia el internet cuántico*. Obtenido de Investigadores logran gran avance hacia el internet cuántico: <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/investigadores-logran-gran-avance-hacia-el-internet-cuantico-675150>
- Engineriainformatica. (2016). *Breve introducción a la Mecánica Cuántica*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://engineriainformatica.cat/wp-content/uploads/2016/05/BREVE-INTRODUCCI%C3%93N-A-LA-MEC%C3%81NICA-CU%C3%81NTICA.pdf>
- Escobar, B., Jaramillo, J., Montoya, J., & Celis, J. (2020). *El Efecto Fotoeléctrico*. Antioquia. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/8007/Efecto%20Fotoel%C3%A9ctrico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Feng, J. (7 de 08 de 2017). *China hoy*. Obtenido de China en la vanguardia de la información cuántica: http://spanish.chinatoday.com.cn/tec/news/content/2017-08/07/content_744595.htm
- Fernández, R. (2017). *Tecnologías cuánticas: promesas y realidades*. Instituto de Estructura de la Materia (CSIC). Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/145229067.pdf>
- García, A., & García, J. (2005). *Criptografía Cuántica*. Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.uv.es/mat.es2005/Cripto/mates2005/pdf/alfonsa.pdf>
- García, J. (31 de 01 de 2019). *Blog de Hiberus Tecnología*. Obtenido de <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/principio-de-incertidumbre-de-heisenberg/>
- Gómez, A., Huamán, L., Lauro, C., Quiróz, C., & Rodríguez, A. (2000). *Ciencia, Tecnología y Ambiente*. Ministerio de Educación. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.une.edu.pe/docentesune/jjhoncon/Descargas/Fasciculos%20CTA/Efecto%20Compton.pdf>
- hiru.eus. (2018). *euskadi.eus*. Obtenido de euskadi.eus: <https://www.hiru.eus/es/fisica/ondas-de-materia-de-louis-de-broglie>
- Ibáñez, J. (2020). *Computación Cuántica: estado de arte, desafíos y contribuciones empresariales*. Obtenido de <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/Econo>

- miaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/422/IBA%CC%81N%CC%83EZ%20DE%20ALDECOA%20QUINTANA.pdf
- Ibañez, J. (2020). *Computación Cuántica; Estado del arte, desafíos y contribuciones empresariales*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/422/IBA%CC%81N%CC%83EZ%20DE%20ALDECOA%20QUINTANA.pdf
- Lawler, D. (2022). “El Entrelazamiento Cuántico”, un fenómeno aterrador según Einstein. ProQuest. Obtenido de <https://www.proquest.com/docview/2720938970/A3C7BA9C5284A1FP-Q/1?accountid=34487>
- Lawler, D. (2022). *El “entrelazamiento cuántico”, un fenómeno “aterrador” según Einstein*. Washington: ProQuest. Obtenido de <https://www.proquest.com/docview/2720938970/836D-B5BC998E4F4EPQ/1?accountid=34487>
- León Cedeño, A. I., Gómez Herrera, J. C., Intriago Pinargote, J. E., Macias Zhizhingo, F. N., & Márquez Patiño, L. (2022). *Mecánica cuántica y su estudio en la ingeniería*. Universidad Técnica de Manabí. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Fernanda-Macias/publication/361492503_Universidad_Tecnica_de_Manabi_Integrantes/links/62b497c6dc817901fc762064/Universidad-Tecnica-de-Manabi-Integrantes.pdf
- Lopez, J. (11 de 05 de 2021). *El Economista*. Obtenido de La NASA y su teletransportación cuántica de larga distancia: <https://www.economista.com.mx/opinion/La-NASA-y-su-teletransportacion-cuantica-de-larga-distancia-20210510-0106.html>
- López, J. (29 de 11 de 2021). *En la carrera por liderar en computación cuántica no pelean solo Estados Unidos y China: estos son los países que también la están disputando*. Obtenido de webedia: <https://www.xataka.com/ordenadores/carrera-liderar-computacion-cuantica-no-pelean-solo-estados-unidos-china-estos-paises-que-tambien-estan-disputando>
- Mamedaliev, E. (2012). *Microscopía de efecto túnel*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://addi.ehu.es/bitstream/10810/30530/3/TFG_Mamedaliev_Guseinova_Ernesto.pdf
- Matthew Tobar, M., Torrez, T., Ureta, A., Velez, M., & Velez, A. (2021). *Tecnología cuántica e ingeniería*. Ecuador: Asigantura de Dinámica. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/Matthew-Tobar/publication/353914096_TECNOLOGIA_CUANTICA_E_INGENIERIA_QUANTUM_TECHNOLOGY_AND_ENGINEERING_Resumen_1_Introduccion/links/611890750c2bfa282a4641fb/TECNOLOG
- Moret, V. (2013). *Principios Fundamentales de Computación Cuántica*. Universidad de A Coruña. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://ingenieriainformatica.cat/wp-content/uploads/2016/05/PRINCIPIOS-FUNDAMENTALES-DE-COMPUTACION-CUANTICA.pdf

- Ortiz, H. (2007). *Fundamentos de Criptografía Cuántica*. Medellín: UNIVERSIDAD EAFIT. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2367/OrtizRojas_Hernan_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pastor, J. (15 de 03 de 2022). *xataka.com*. Obtenido de Microsoft quiere ganar la carrera de la computación cuántica. Y está revolucionando el concepto de cúbit para lograrlo: <https://www.xataka.com/investigacion/microsoft-quiere-ganar-carrera-computacion-cuantica-esta-revolucionando-concepto-cubit-para-lograrlo>
- PICTET. (12 de 04 de 2021). *Economía y Finanzas*. Obtenido de ¿Finanzas cuánticas para predecir aleatoriedad y volatilidad?: <https://am.pictet/es/blog/articulos/finanzas-y-mercados/finanzas-cuanticas-para-predecir-aleatoriedad-y-volatilidad>
- Pinargote, C., Prado, J., Palma, B., & Pincay, J. (2020). *MECÁNICA CUÁNTICA: ENTRELAZAMIENTO CUÁNTICO/ QUANTUM MECHANICS: QUANTUM ENTANGLEMENT*. ResearchGate. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/346654610-MECANICA_CUANTICA_ENTRELAZAMIENTO_CUANTICO_QUANTUM_MECHANICS_QUANTUM_ENTANGLEMENT
- Pineda, L. (2012). *Principios de Teleportación Cuántica*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://vixra.org/pdf/1205.0109v1.pdf>
- Rodríguez, J. (08 de 09 de 2021). *El Tiempo*. Obtenido de La segunda Revolución Cuántica, ¿cambiará nuestro mundo?: <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/que-es-la-segunda-revolucion-cuantica-616546>
- Romero Rochin, V. (2014). *Termodinámica*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.fisica.unam.mx/personales/romero/TERMO2014/TERMO-NOTAS-2014.pdf>
- Sánchez, R. (2021). *Mecánica cuántica aplicada a procesado y comunicaciones: implicaciones presentes y futuras*. Máster Universitario en Dirección TIC para la Defensa. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/handle/123456789/583/S%20c3%a1nchez%20Jim%20a9nez%20Ricardo%20-%20Resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vanegas, A. (12 de 12 de 2016). *El camino hacia el ordenador cuántico: bits y cúbits*. Obtenido de El camino hacia el ordenador cuántico: bits y cúbits: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/mundo-digital/el-camino-hacia-el-ordenador-cuantico-qubits-y-qudits/>
- Vega, H. (2021). *Estudio comparativo de dos correlaciones cuánticas tipo discordia en sistemas de qubits*. Montería: Universidad de Córdoba. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/4669/VEGABENITEZHERNANISRAEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villatoro, F. (2012). *Nuevo récord en el teletransporte cuántico obtenido entre La Palma y Tenerife en una distancia de 143 km*. La Ciencia de la Mula Francis. Obtenido de <https://fran->

cis.naukas.com/2012/09/12/nuevo-record-en-el-teletransporte-cuantico-obtenido-entre-la-palma-y-tenerife-en-una-distancia-de-143-km/

Wikipedia. (2020). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio_de_efecto_t%C3%BAnel#:~:text=El%20efecto%20t%C3%BAnel%20es%20un,evento%20conocido%20como%20efecto%20t%C3%BAnel.