

## **Evolución de la computación cuántica y los retos para la seguridad de la información**

### *Evolution of Quantum Computing and the Challenges for Information Security*



UNISANGIL

Marcos Fernando Reyes Álvarez \*

Tipo de artículo: revisión

Recibido: 31 de marzo de 2016

Aceptado: 8 de mayo de 2016

#### **Resumen**

La computación cuántica tuvo sus inicios en las investigaciones de científicos como Max Planck y Albert Einstein. La idea inicial de sus estudios era resolver el problema planteado por la radiación del cuerpo negro. En 1900, Planck introdujo el cuanto de energía, con el fin de describir las propiedades espectrales de la radiación, mediante un proceso de distancias discretas o cuantización. Estas investigaciones le condujeron a Planck, y a Einstein a infiltrarse en el estudio de la energía, las moléculas, los átomos y en ser los pioneros de la física cuántica, camino que continuaron Maxwell, Bohr, Louis de Broglie, Schrödinger, Podolsky, Rose, Feynman, entre otros. La computación cuántica se fundamenta en el uso de características como la superposición y el entrelazamiento de fotones, los cuales son útiles para almacenar y enviar información a través de los qubits. En la actualidad se pueden encontrar diferentes proyectos que involucran la computación cuántica y que la están convirtiendo en una realidad, pero también existen amenazas a la seguridad de la información, que no están siendo tomadas en cuenta, y que pueden afectar los sistemas de información, rompiendo las reglas criptográficas actuales, poniendo en riesgo la confidencialidad de la información en espacios impensados.

**Palabras claves:** computación cuántica; confidencialidad; entrelazamiento; Qubits; superposición.

#### **Abstract**

Quantum computing started with the research work of such scientists as Max Planck and Albert Einstein. The initial idea of their studies was to solve the problem posed by black body radiation. In 1900 Planck introduced the quantum of energy, in order to describe the spectral properties of radiation, through a process of discrete distances or quantization. These research work led Planck and Einstein to enter the study of energy, molecules and atoms, and to pioneer quantum physics. Maxwell, Bohr, Louis de Broglie, Schrodinger, Podolsky, Rose, Feynman, among others, continued such path. Quantum computing is based on the use of features such as photon superposition and entanglement, which are useful for storing and sending information through the qubits. Different projects involving quantum computing may be found nowadays, which are making it a reality, but there are also threats to information security, which are not being considered, and which could damage information systems by breaking the current cryptographic rules, thus putting information confidentiality at risk in unthinkable spaces.

**Keywords:** quantum computing; confidentiality; entanglement; qubits; superposition.

---

\* Ingeniero de Sistemas, Docente cátedra, Unisangil. **Correo electrónico:** mreyes@unisangil.edu.co, Coordinador del Semillero de Seguridad Informática Unisangil. Investigador perteneciente al Grupo Hydra.

## Introducción

Aproximadamente desde el año 1900, existe un modelo teórico de la computación cuántica, producto de la investigación de varios años; pero por diferentes motivos aún no se ha dado su salida a la luz pública como el camino a la tecnología de la nueva era, rompiendo paradigmas de la computación tradicional, y abriendo la puerta al mundo cuántico. La computadora tradicional realiza diferentes operaciones en memoria y procesos que pueden durar minutos, horas y días dependiendo de la complejidad de las operaciones que deba realizar, pero con la computación cuántica esos mismos procesos se podrán realizar en cuestión de segundos, lo cual impulsa la aparición de la criptografía cuántica, así como hace algunos años apareció el láser, que en un principio se tenía la información, pero estaba en construcción el medio de propagación, y hoy en día la tecnología láser es usada en un gran porcentaje en la sociedad, así mismo lo que más ha dilatado la aparición comercial de la tecnología cuántica ha sido encontrar la forma de materializarlo en forma física, en pocas palabras el envase sobre el cual se ha de colocar ese contenido.

En la física cuántica un objeto, una molécula, un átomo podría estar en dos lugares distintos al mismo tiempo. De forma que es interesante analizar como dos partículas que están en distintos lugares del universo podrían estar entrelazadas; lo cual es una incertidumbre. No se puede conocer con precisión todas las características de una partícula subatómica, debido a que éstas no tienen una posición ni una trayectoria definida, sino que se hallan en distintos lugares a la vez con distintas probabilidades, a lo cual se le llama superposición. Al intentar medir con precisión las características de un objeto cuántico, su estado será completamente distinto del que tenía antes de la medición, lo cual es una característica intrínseca de la naturaleza cuántica, siendo un comportamiento que abre la posibilidad de fenómenos interesantes, como por ejemplo el entrelazamiento que se puede dar entre una pareja de partículas, ocasionando que cuando algo modifica el estado de una de las dos

partículas, automáticamente modifica el estado de la otra, y esa conexión especial se mantiene aún si las dos partículas se encuentran a los dos extremos de una galaxia; el mismo Einstein definía el entrelazamiento como “acción fantasmal a distancia”. El entrelazamiento se puede interpretar como un intercambio de información entre dos partículas, según Vlatko Vedral Vedral (2010).

Cuando analizamos las unidades fundamentales de la realidad, las que componen todo a nuestro alrededor, ya no debemos pensar en estas unidades como fragmentos de energía o materia, sino que deberíamos pensar en ellas como unidades de información, ya que según la mecánica cuántica no se puede decir que algo exista o no a no ser que se haya realizado una medición, por tanto las unidades de información son lo que crean la realidad, no las unidades de materia u energía (Vedral, 2010).

El computador cuántico, parte de la base de que un objeto grande pueda estar en varios estados a la vez, haciéndolo más eficiente que un ordenador actual (compuestos de miles de millones de partículas que interactúan con el entorno). En un ordenador tradicional 1 bit puede tener máximo 2 estados, 1 o un 0, mientras que un qubit puede tener una superposición que le hace tener los 2 valores simultáneamente, lo cual permitiría realizar múltiples tareas a la vez, como descifrar rápidamente los factores de un número grande, busca en listas muy extensas, o simular sistemas complejos como el clima. Pero en cuanto al ordenador cuántico, deberá tenerse en cuenta el aislamiento, porque cualquier perturbación puede alterar su comportamiento, por lo tanto el aislamiento es uno de los elementos clave en la fabricación de estas máquinas (Redes, 2011).

## Principios de la Teoría Cuántica

*“Si he visto más lejos, ha sido por subirme a  
hombros de gigantes”*

Isaac Newton

El origen de la física cuántica tuvo lugar con el estudio de la radiación térmica, debido a que todo

cuerpo por el hecho de estar a cierta temperatura emite energía electromagnética, denominada radiación térmica y se genera por el movimiento acelerado que sufren las partículas cargadas que constituyen el cuerpo. Cuando el cuerpo se encuentra en equilibrio térmico la radiación que emite por unidad de tiempo es igual a la que absorbe. Si la temperatura del cuerpo es igual a unos 300 kelvin (temperatura ambiente) no vemos la radiación que emite, ya que esta se encuentra en el infrarrojo y el ojo humano no la detecta. Sin embargo, si aumentamos la temperatura llega un momento en que empezamos a ver el cuerpo de color rojo (se dice que está al rojo vivo) y si se sigue aumentando se verá blanco, es decir, se emite radiación en todo el espectro visible. El espectro de la radiación térmica depende en general de la composición del cuerpo, sin embargo, existen una serie de cuerpos que emiten un espectro de radiación universal cuando están en equilibrio térmico y son los denominados cuerpos negros. Un cuerpo negro es aquel que no refleja radiación, es decir, que absorbe toda la radiación que recibe (Uco, 2016).

El origen de la teoría cuántica data del periodo comprendido entre 1900 y 1905, teniendo como protagonistas a Max Planck y Albert Einstein, los cuales continuaron la línea de pensamiento que Ludwig Boltzmann abrió en 1877, acerca de la entropía y la probabilidad como elementos clave en sus descubrimientos. El eje principal de sus investigaciones era resolver el problema planteado por la radiación del cuerpo negro. En diciembre de 1900, Planck introdujo el concepto de cuanto de energía dentro de sus investigaciones, para describir las propiedades espectrales de la radiación, mediante un proceso de distancias discretas o cuantización (electrones que giran alrededor del núcleo a ciertas distancias específicas) aplicado a la materia. Las teorías y los descubrimientos de Max Planck, fueron el motor que con el paso del tiempo introdujeron al mundo en la era cuántica, la era del láser, el CD, el ordenador, el transistor y los artilugios de comunicación personal (Sánchez Ron, 2000).

Planck proponía una modificación de la interacción entre la materia y la radiación, mientras que Einstein (quien en ese momento era un desconocido examinador de la oficina suiza de patentes, y además fue la primer persona que tomó en serio la investigación de Planck) proponía modificar la teoría clásica del campo electromagnético, de forma que recurrió a un enfoque mecánico estadístico. En Junio de 1905 Einstein sugirió cuales debían ser los constituyentes elementales de la radiación y sus procesos elementales dentro de la aproximación mecánico –estadística al problema de la interacción radiación– materia. Einstein también descubrió que la luz no es una onda continua, sino que a veces se comporta como una partícula, lo cual llaman los físicos dualidad onda partícula, y uno de sus mayores logros intelectuales, el cual le valió un premio nobel fue darse cuenta que la luz se comporta como si viniera en pedazos, en trocitos, en cuantos, los cuantos de luz se llaman fotones, se dio cuenta que no solo es matemáticas, sino también física. Por esta razón se puede decir que Einstein fue el iniciador de la teoría cuántica (Sánchez, 2000).

### **Inicios de revolución cuántica**

Newton, por medio de varias ecuaciones matemáticas sencillas describió y predijo el movimiento de los planetas, descubrió que el mundo es fundamentalmente predecible (Broadbent *et al.*, 1968).

James Clerk Maxwell, demostró que la electricidad y el magnetismo podían resumirse con varias ecuaciones matemáticas, ecuaciones que tuvieron un gran impacto sobre el desarrollo tecnológico del siglo XX: televisión, teléfonos móviles, entre otros, son el resultado de la revolución que inició Maxwell (Mott, 1965).

En 1923 Niels Bohr comenzó a complementar el modelo cuántico explicando la estructura del átomo, por medio de ecuaciones sencillas, explicó las propiedades de los átomos mediante la mecánica cuántica (cuantización) (Bohr, 1999).

El físico francés Louis de Broglie demostró que las orbitas atómicas pueden explicarse asumiendo que los electrones también pueden comportarse como ondas (Biografiasyvidas, 2016).

Erwin Schrödinger en 1925 formuló la ecuación que lleva su nombre, sentando las bases de una teoría completa de la mecánica cuántica, dando a los científicos una receta universal para entender todos los fenómenos cuánticos anteriores, y les proporcionó una forma sistemática de explorar el mundo atómico para obtener nuevos e inexplorados efectos cuánticos, siendo la teoría cuántica la más precisa y con más fuerza jamás concebida por la humanidad, la cual fue tremendamente útil como herramienta científica e hizo posible muchas de las tecnologías actuales (Qian *et al.*, 2015).

En la física clásica se está acostumbrado a un universo independiente, se sepa de él o no, se puede observar, pero da igual, ni cambia ni se molesta, sigue sus propias normas. En la mecánica cuántica ya no ocurre eso; mirar algo, hacer algún comentario sobre ello, cambia su comportamiento, así como ocurre con los objetos cuánticos, al estar en diferentes posiciones al mismo tiempo, lo que se conoce como superposición (Qian *et al.*, 2015). Esto permite realizar tareas informáticas en mecánica cuántica que son muy difíciles o muy poco posibles usando computadores convencionales (Biografiasyvidas, 2016).

En la paradoja Einstein, Podolsky y Rosen demostraron que ciertas combinaciones de superposiciones de partículas podrían combinarse de una forma extraña, ilógica e imposible de explicar según la mecánica clásica.

En una teoría completa, cada elemento corresponde a un elemento de la realidad, una condición suficiente para que una cantidad física sea real, es la posibilidad de predecirla con certeza sin interrumpir el sistema. Según la mecánica cuántica es posible que dos partículas estén tan estrechamente entrelazadas que formen un sistema único en el que ninguno de ellas tenga un estado cuántico propio (Schlegel, 1971).

Stephen Hawking.

La diferencia básica entre la física clásica y la cuántica es que en la física clásica se puede predecir tanto la posición como la velocidad de las partículas, mientras que en la teoría cuántica no se puede predecir ninguna de las dos (Abbott *et al.*, 1999).

### **Revolución cuántica una realidad más cercana**

La segunda revolución cuántica cuenta con dos características principales 1. Capacidad de controlar la rareza del mundo cuántico incluidas la superposición y el entrelazamiento, 2. Es el auge de la era de la información, ahí llega la información cuántica o IQ (Ver-documentales.net, 2016).

En 1985 un artículo del físico americano Richard Feynman, hablaba de la posibilidad de que los ordenadores funcionaran por principios cuánticos. Introdujo la teoría de los patrones, hipotéticas partículas localizadas en el núcleo atómico, que daría pie más tarde a la introducción del moderno concepto de quark. Su aportación a la física teórica ha quedado recogida en títulos tales como, Quantum (Biografiasyvidas, 2016).

La tecnología actual se está aproximando a los límites de la información cuántica, y nuestros transistores se acercan al tamaño de un bit cuántico, o qubit, a lo cual en un principio se le llamó ley de Moore (se trata de una regla por la cual establece que el número de transistores en un chip microprocesador se duplicará cada dos años más o menos) en honor al fundador de Intel que lo predijo hace veinte años, y por tanto se esperaba que en los siguientes veinte años los transistores que son el corazón de los dispositivos informáticos se acerquen al tamaño de un único átomo. Pero como era de esperarse, la evolución de la tecnología ha cambiado mucho, y ya la ley de Moore ha ido quedando como una anécdota más, pero que da lugar para comprender la gran evolución tecnológica comparando un ordenador de los años setenta con los sofisticados aparatos de los noventa, que dieron origen a la popularización de internet (ABC, 2016).

Existe una tesis fundamental muy importante en la informática llamada la tesis moderna de Church/Turing dice que, todos los ordenadores clásicos normales son básicamente equivalentes, y no es que funcionen a la misma velocidad, sino que siguen las mismas normas, se comportan de forma similar, y si se intenta realizar una tarea con un portátil y después se intenta hacer lo mismo con otro ordenador, se comportará prácticamente de la misma forma (Copeland, 2007).

Stephen Hawking “los ordenadores cuánticos se basan en el hecho de que el estado cuántico de la memoria de un ordenador contiene mucha más información que sus descripciones clásicas” (Abbott *et al.*, 1999).

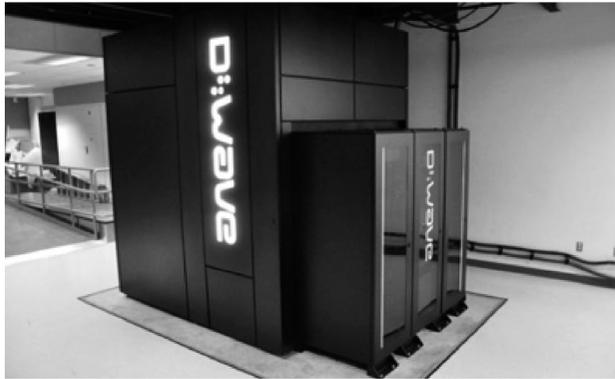
### **Aplicaciones del mundo cuántico en el mundo cotidianos**

La computación cuántica presenta diferentes aplicaciones que se vienen implementando, y otras que serán aplicadas a futuro, tal como se mencionan a continuación.

- La criptografía cuántica, ya se ha utilizado a alto nivel, para asegurar los resultados electorales en Suiza, allí se desarrolló la tecnología básica para la criptografía cuántica, lo que se aseguraba mediante la criptografía cuántica es el vínculo de fibra óptica que une el lugar donde se cuentan las papeletas, con el lugar donde están los ordenadores del Estado, y esa fue la primera aplicación pública de la información cuántica en el mundo real (Teleobjetivo, 2016).
- Tele transportación cuántica. La tele transportación cuántica no tiene nada que ver con lo que se ve en ciencia ficción, porque no se traslada ninguna materia de un punto A un punto B, es la información cuántica lo que se traslada de A hacia B. La tele transportación cuántica es posible por el entrelazamiento de dos fotones para transmitirle información del uno al otro (ABC, 2016).
- la simulación de sistemas cuánticos, por ejemplo un simulador de vuelo (Zhang *et al.*, 2015).
- Ayudar a diseñar nuevos súper conductores para dirigir trenes de levitación magnética (Arcos y Berazaluze, 2011).
- Podría simular los átomos de un fármaco para indicar cómo prepararlo, y cómo interactuará con otras sustancias químicas, la química de los átomos, el comportamiento de los materiales, todo depende de la mecánica cuántica, y un ordenador cuántico es magnífico para simularlo (RTVE, 2014).
- Identificar el mercurio en el pescado (Rivera y Valencia, 2016).
- Buscar el plomo en los juguetes (Cdc, 2016).
- Detectar bombas (Gómez, 2010).
- Hacer sensores más sólidos, más precisos, más sensibles, y si se pueden compactar se podrán usar ampliamente en el entorno medioambiental. (Noticias de la Ciencia, 2016).
- La codificación de información confidencial ha sido uno de los dilemas de la seguridad de la información desde sus inicios, siempre teniendo en cuenta que debe ser tan sólida que nadie pueda romperla, pero a su vez genera una barrera para cuando se deben analizar delitos informáticos, y se encuentra la información cifrada.
- FayerWayer, (2016) afirma que el ordenador cuántico podrá encontrar la mejor forma para codificar secretos, usando diferentes técnicas de cifrado a través de la factorización de números, lo que a su vez dejará obsoletos los métodos de cifra actuales, y se abrirán nuevos paradigmas para la seguridad de la información.

## Incidencias de la seguridad de la información en la computación cuántica

El auge de las tecnologías, más específicamente con las computadoras, celulares, tabletas, entre otros, ha sido de un gran impacto para la humanidad en los últimos años, lo cual ha traído muchos beneficios a la sociedad facilitando la vida a millones de personas, permitiendo realizar actividades que en el pasado eran tediosas y lentas, pero que en la actualidad se pueden desarrollar en unos pocos minutos y con una relativa facilidad.

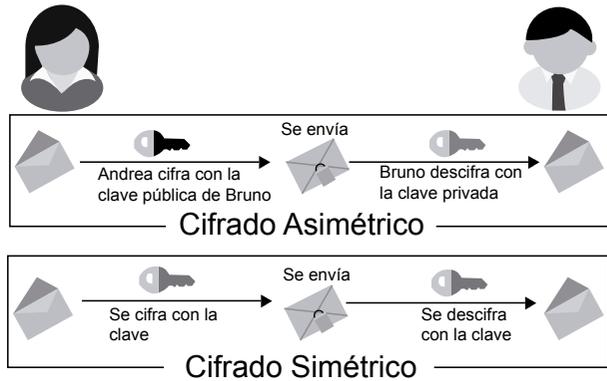


**Figura 1.** D-Wave 2x  
Fuente: (Campillo, 2015)

Según la Figura 1. El D-Wave 2x es una de las primeras computadoras cuánticas conocidas, que han sido creadas para realizar diferentes estudios científicos aprovechando su gran velocidad y capacidad de procesamiento, pero además se debe tener en cuenta que Campillo (2015):

El D-Wave 2x, para funcionar necesita hacerlo a una temperatura de milikelvins. Es decir, unas 1000 veces por debajo de un grado Kelvin. Unas temperaturas tan frías que solo pueden alcanzar los aspectos más intrincados y retorcidos de la existencia. Esto es necesario para que puedan funcionar las aleaciones y súperconductores que forman su hueso duro.

El uso de métodos de criptografía clásica, puede ayudar a incrementar la seguridad de la información en las organizaciones, mezclado con la tecnología moderna, de forma que puedan brindar mayores niveles de aseguramiento de la información y las aplicaciones.

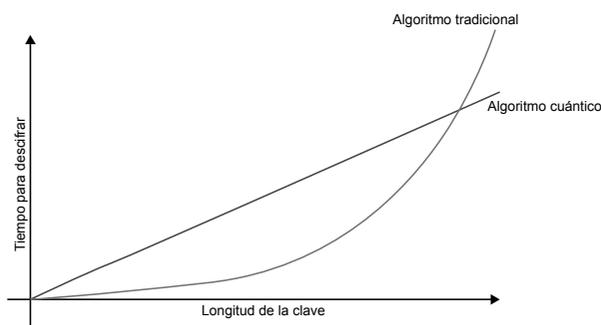


**Figura 2.** Cifrado Simétrico y Asimétrico

Fuente: (Poloy Polo, 2014)

Como se observa en la Figura 2. La criptografía tradicional se puede clasificar en dos, la simétrica y asimétrica, donde la simétrica usa la misma clave para cifrar y descifrar los mensajes. Mientras que la asimétrica usa una clave pública para cifrar y luego una privada para descifrar, donde la clave pública que ha sido usada para cifrar la información, es conocida por el emisor y el receptor, mientras que la clave privada es solamente conocida por el receptor (Polo y Polo, 2014).

Como lo muestra la Figura 3. La criptografía tradicional se basa en la factorización de números grandes para poder brindar seguridad a sus algoritmos de forma que las computadoras tradicionales tardarían años en resolver, pero la computación cuántica ya podría factorizar esos grandes números en cortos lapsos, lo cual obliga a usar métodos criptográficos cuánticos para evitar ese tipo de ataques, y a su vez se ha encontrado con investigaciones como el “código de la mochila”, perteneciente a la criptografía clásica, que consiste en que un número grande puede ser la mochila, y una serie de números pequeños en subconjuntos que agrupados específicamente deberán llenar la mochila.



**Figura 3.** Algoritmo Tradicional vs Cuántico

Fuente: (Jiménez, 2016)

Este código de la mochila presenta algunas vulnerabilidades en su forma tradicional. Hamlin cuenta que hicieron correcciones en el nivel fundamental del código, que repararon muchos de sus puntos débiles. Eso hizo que bloqueara una mayor gama de ataques cibernéticos, incluyendo aquellos que utilizan la reducción de base, uno de los métodos de decodificación utilizados para romper el código mochila original, explica. «La reducción de base es un gran martillo para usarlo contra este código y, después de las pruebas, creemos que es seguro contra este tipo de ataque y funcionaría como código alternativo para la computación cuántica», dice Hamlin (Hamlin *et al.*, 2016).

En la comunicación en la nube se podrá utilizar la computación cuántica para transportar información confidencial a través de largas distancias, utilizando los fotones para codificar la información de los qubits, aprovechando la cualidad de los múltiples estados, de forma que nadie conozca cual ha sido el estado inicial y solo el usuario que está realizando el procedimiento lo conozca y así poder asegurar la información, lo cual en teoría hasta el momento es algo casi perfecto, (Agenciasinc, 2012). pero que debe mantenerse la atención posible en el mismo, para no dar lugar a errores que permitan con el tiempo a un atacante capturar el estado inicial y poder empezar a decodificar la información.

Actualmente algunos físicos e investigadores como David Bacon buscan permanentemente diferentes

usos que se puedan dar a la computación cuántica, que puedan ser fuente de nuevas innovaciones futuras, de tal forma que plantean ideas como por ejemplo el de poder enviar mensajes bloqueados al futuro venciendo las barreras de espacio y tiempo, buscando romper paradigmas y encontrar nuevas aristas de lo que conocemos como el mundo cuántico. Lo cual en este momento sin ser un aspecto relevante son cosas que pueden llegar a tener incidencia en un futuro sobre la seguridad de la información, y así como pueden ser usados para fines buenos, también pueden ser usados para el mal (Yuan *et al.*, 2015)

La India en su momento sacó a la luz lo que denominó el proyecto Aadhaar el cual consistió en identificar a todas las personas de su país en una gran base de datos, usando diferentes métodos de identificación, entre ellos la biométrica, esto debido a que, la India es uno de los países con más pobreza del mundo, donde predomina la informalidad y el analfabetismo, a modo tal que gran parte de la población no tiene ni siquiera un documento de identificación, por lo tanto el gobierno indio busco agrupar esta información, para poder brindar los diferentes beneficios de seguridad social entre otros a la población. Este tipo de sistemas de identificación biométrica, requieren realizar cientos de comparaciones en cuestión de poco tiempo para poder determinar la identidad de una persona, y quizás esa sea una de las razones por las cuales no haya sido aún copiado alrededor del mundo, pero en el caso del uso de nuevas tecnologías como la computación cuántica este tipo de procesos serán de cuestión de segundos para identificar personas en muestras a nivel mundial (Pérez, 2016).

En la actualidad el mundo hacker ha ganado un terreno muy importante dentro del mundo de la programación y en especial dentro de la White Web, entre algunas de sus facetas se les ha conocido como White Hacker, o Ethical Hacker, y la función principal ha sido demostrar a las empresas públicas y a los Estados, por medio de técnicas de hacking como pueden ser atacados por delincuentes informáticos y como protegerse.

Igualmente dentro de la computación cuántica se debe trabajar de la mano con individuos que tengan conocimiento y cercanía del hacking, para que a medida que se va avanzando en el desarrollo de diferentes proyectos con tecnología cuántica, se vaya teniendo en cuenta paralelamente la seguridad de la información (Perez, 2016).

## **Novedades cuánticas**

### *Chip de Silicio.*

Se espera que los ordenadores cuánticos, y este tipo de tecnología en general, se conviertan próximamente en un importante avance tecnológico, capaz de reemplazar los dispositivos de computación convencionales, en aplicaciones que van desde comunicaciones ultra-seguras y sensores de alta precisión, a ordenadores increíblemente potentes. También se prevé que su incursión propicie grandes avances en el diseño de nuevos materiales y en el descubrimiento de novedosos medicamentos. Todo ello sería posible gracias a la velocidad que aportan los bits cuánticos, que a diferencia de los bits convencionales y los transistores, que sólo pueden estar en uno de los dos estados posibles al mismo tiempo (1 o 0), pueden encontrarse en varios estados simultáneamente. Esto les permite contener y procesar mucha más información y a mayor velocidad (Moret, 2016).

La novedad de la investigación es el trabajo conjunto de científicos e ingenieros, dirigidos por el doctor Mark Thompson. El avance ha sido tal, que algunos ya lo han descrito como el circuito cuántico más complejo jamás realizado. Prueba de su repercusión es también su aparición en portada del último número de la prestigiosa revista científica Nature Photonics. Los investigadores construyeron un chip capaz de exponerse al ataque directo de un rayo láser. A continuación, la luz cuántica producida se combina usando un divisor de haz integrado también en el dispositivo. Por ello, el equipo sugiere que su invención – básicamente, un sistema cuántico integrado en un chip–, hace innecesarios los fotones externos, creando el camino hacia un ordenador cuántico completo (Pérez, 2016).

### *La Tecnología Cuántica llega a la vida de las personas*

La computación cuántica se presenta como la gran promesa para seguir construyendo equipos más veloces. A diferencia de un ordenador tradicional que se ejecuta en bits binarios, los qubits cuánticos pueden ser 0 y 1 a la vez, lo que facilita un aumento importante en la velocidad de procesamiento, fundamental para acelerar la búsqueda en bases de datos o el aprendizaje automático. Sin embargo, mientras los bits binarios se basan en transistores de silicio de confianza, los expertos aún deliberan sobre el mejor material para los equipos cuánticos (Pérez, 2016).

### *IBM y el primer computador cuántico*

Según un artículo publicado en la revista Nature Communications, uno de los avances de IBM (T21, 2016), es la capacidad de detectar y medir al mismo tiempo los dos tipos de errores cuánticos que padecen los qubits (bits cuánticos de información). Hasta ahora, sólo había sido posible hacer frente a un tipo de error cuántico u otro, pero nunca a los dos al mismo tiempo. Los qubits son muy sensibles, y resulta difícil mantenerlos libres de errores o lo suficientemente estables como para reproducir el mismo resultado una y otra vez. Así que, si sus errores no se corrigen, se corre un grave riesgo de pérdida de información. Por lo tanto, este avance es un “paso necesario (...) para la fabricación de una computadora cuántica práctica y fiable”, según lo afirma IBM (Kelly *et al.*, 2015).

La computación cuántica resulta muy prometedora: de ella se piensa que podría marcar el comienzo de una nueva era de innovación en todos los sectores. Los ordenadores cuánticos prometen abrir nuevas posibilidades en el campo de la optimización y simulación que, simplemente, hoy día no son alcanzables. Esto es por su capacidad de computación. Por ejemplo, un ordenador cuántico de sólo 50 bits cuánticos (qubits) superaría a cualquier combinación de supercomputadoras TOP500 actual en capacidad computacional, incluso, se cree que estos ordenadores harán que incluso nuestras máquinas convencionales más potentes parezcan chatarra de la Edad de Piedra (Kelly *et al.*, 2015).

En cuanto a la estructura anunciada, esta consiste en un complejo circuito de bits cuánticos basado en una red cuadrada de cuatro qubits superconductores colocados en un chip de 0,6x0,6 centímetros. Se ha optado por esta disposición en cuadrado de los qubits en lugar de una ubicación lineal porque esta última evita la detección de los dos tipos de errores cuánticos antes mencionados de manera simultánea (Kelly *et al.*, 2015).

### *Internet Cuántico*

Los fotones tienden automáticamente a la entropía o desorden, de una forma asimétrica, por eso el éxito para una internet cuántica es el poder agrupar esos fotones de forma simétrica en el tiempo y poderlos controlar de una forma ordenada desde el punto de vista de la física cuántica, lo cual es algo que brindará muchas satisfacciones en un futuro cuando se logre implementar a nivel mundial, permitiendo la comunicación entre las computadoras cuánticas mediante el intercambio de fotones individuales para crear una Internet cuántica. La distribución de la energía de los fotones a través del tiempo, es fundamental para la lograr la transmisión exitosa de la información (Pagliano *et al.*, 2014).

Gracias a los frutos de la investigación, se han ido logrando diferentes aportes a la tecnología cuántica que va brindando más solidez a la aplicación de la misma en un futuro próximo, por ejemplo, hace unos años uno de los mayores dilemas era el no conocer el medio por el cual se podría transmitir la información cuántica, lo cual en estos momentos se empieza a resolver con la creación de materiales que pueden realizar esas tareas, brindando así una base más sólida a la consolidación de nuevas tecnologías como la mencionada en este documento.

Un equipo de científicos liderados desde la Universidad Autónoma de Barcelona ha desarrollado un material que guía y transporta el campo magnético de forma parecida a como una fibra óptica lo hace con la luz o una manguera con el agua. El prototipo de 'fibra magnética' mide 14 centímetros, pero puede implementarse

a cualquier escala, incluida la nanométrica (Navau *et al.*, 2014).

### *¿Máquina Pensantes?*

Investigaciones sustentan que las máquinas conscientes son el siguiente reto tecnológico, aunque se asemeje a los conceptos usados en la ciencia ficción, es una realidad muy próxima (Gómez, 2016). Con la premisa de poder imitar el funcionamiento del cerebro humano, quizás se puedan llegar a simular lo que puede ser un proceso realizado por la conciencia, o simular algo aproximado a los sentimientos y las emociones, aunque por supuesto, nunca será real, será algo forzado por la tecnología por ese interés de abordar todas las áreas del conocimiento (Moriello, 2016).

Según estudios científicos, la inteligencia surge como una consecuencia de la conciencia, por lo tanto para alcanzar una Inteligencia Artificial (Pérez, 2016). Lo más aproximada a la realidad posible, se requiere tener un alto nivel de simulación de la conciencia. La simulación del pensamiento, por medio de la computación cuántica sería mucho más viable. En cuanto a la simulación de un cerebro artificial se dice que para que en algún momento se tratarán de simular sentimientos y emociones debería construirse la cabeza y el cuerpo artificiales para que dicho experimento pudiese ser realizado con más probabilidad de éxito, dejando de ser un simple robot para convertirse en un androide. "la teoría de que la conciencia se comporta como las partículas cuánticas, al igual que algunas de las funciones de la biología molecular son a todas luces procesos cuánticos" (Martínez, 2016).

Lo anterior sería una explicación al estudio de la conciencia en animales, como por ejemplo monos y perros, donde los científicos debaten si las respuestas de estos animales se deben al simple instinto, o a experiencias subjetivas humanas como la alegría, la ira, el dolor, los deseos o las intenciones. La respuesta a estos interrogantes brindará una mayor aproximación al avance de la simulación cuántica de las funciones cerebrales. "El universo está poblado de galaxias y el cerebro de neuronas. La sensación de totalidad es común al cerebro y a universo".(Leach, 2016).

En cuanto al pensamiento cuántico, la inteligencia artificial y temas afines, se debe tener en cuenta la robótica, ya que según un trabajo teórico hispano-austríaco, los robots cuánticos serán más creativos y responderán más rápido a los cambios en su entorno. Serán, por tanto, mucho más capaces de aprender que sus homólogos analógicos, por tanto, es otro de los vectores importantes a tener en cuenta, ya que si se tiene el factor mecánico que realizan actualmente, y se complementa con esa aproximación al razonamiento humano, puede estar resultando una nueva generación que revolucionará el mundo tecnológico por completo (Paparo *et al.*, 2014).

Por primera vez, un software instalado en un superordenador, el Eugene Goostman (que simula a un niño de 13 años y que fue desarrollado en San Petersburgo, Rusia), ha superado la Prueba de Turing 2014, celebrada por la Royal Society en Londres. Lo cual significa un gran avance en cuanto a la robótica y la inteligencia artificial y aproxima cada vez más este nuevo paradigma al mundo actual (T21, 2016).

Las casas domóticas son otro vector que viene a mezclar la robótica, la inteligencia artificial y además vinculará a la computación cuántica dentro de su accionar. T21, (2016).

Desde cualquier ordenador conectado a Internet o desde cualquier Smartphone se podrá cambiar el estado de los dispositivos de forma remota, como variar la intensidad de una luz o bajar una persiana. También se podrá visualizar los eventos que se han producido en la casa, por ejemplo cuando alguien activa un sensor de presencia o ver en qué momento se ha encendido la calefacción, explica Lozano-Tello (p.xxx).

### **Computación cuántica desde la perspectiva de la seguridad informática**

Así como en todas las áreas de la tecnología, la telefonía también tendrá diferentes avances que modernizarán el mundo, pero se deben tener en cuenta algunos aspectos de seguridad que mezclados con la computación cuántica podrán ser nuevos campos donde los delincuentes informáticos se fortalezcan paralelamente (Abajo y Abajo, 2016).

Por ejemplo, en cuanto a los teléfonos inteligentes se tiene que los Malware de la nueva era empiezan a ejecutar aplicaciones automáticamente, arrojar invitaciones y ventanas pretendiendo que los usuarios en un descuido acepten y se contaminen los dispositivos, por eso ya se está trabajando en que los dispositivos comparen las acciones del teléfono con los movimientos de la mano del usuario, de forma que cuando el celular ejecute acciones sin presentar un registro de movimiento, automáticamente se disparen alertas antimalware que bloqueen el dispositivo y mitiguen la amenaza (Hamlin *et al.*, 2016).

Twitter revela dónde vive una persona, incluso con la geolocalización desactivada (Pérez, 2016). Este tipo de innovaciones pese a presentar interesantes avances para la sociedad, también son potenciales vectores de ataque que se empiezan a abrir, ya que a una persona le podrán hacer seguimiento sin estar siquiera conectada a internet, ¿si no es un familiar o alguien cercano, entonces cualquier sospechoso podría obtener ese tipo de información y usarla para qué fines? Y si tenemos métodos de cifrado y conexiones cuánticas irrompibles, como poder identificar que hay un intruso.

Un nuevo teclado virtual permitirá escribir sin dispositivo físico. Este tipo de noticias son muy atractivas desde la perspectiva comercial y desde el consumismo e innovación tecnológica, pero surge nuevamente la inquietud acerca de la seguridad, como se puede asegurar que un intruso ahora sin tener el dilema de colocar un dispositivo físico, simplemente llegue a hackear la señal de ese teclado virtual y usarlo como keylogger dejando aún menos evidencias que un dispositivo físico (Perez, 2016).

### **Conclusiones**

Las investigaciones que iniciaron personas como Planck y Einstein, que inicialmente se dieron buscando explicaciones a inquietudes propias, se fueron abriendo camino hacia la física cuántica por una serie de coincidencias, para posteriormente convertirse en los principios de la computación cuántica.

La computación cuántica empezará a ser noticia en los próximos años, sorprendiendo a la sociedad con sus nuevas facultades al servicios del hombre, brindando nuevas vías de interacción hombre y máquina, aproximándose a conceptos como la inteligencia artificial, entre otros, que aunque fueron vistos por muchos años como historias de ciencia ficción, siempre han estado en el foco de los intereses del ser humano por adentrarse en todos los rincones del conocimiento y sacar el mejor usufructo de ellos.

La computación cuántica será el *boom* de las décadas venideras, siendo la mayor innovación y revolución informática de los últimos años, presentando un nuevo paradigma computacional, así como cuando se empezó a hablar de TCP/IP, pero esta vez con el reto de no dejar nada al azar, y estar en un permanente estudio y análisis de la ventajas como desventajas que podrá traer, incluyendo las diferentes medidas de control y mitigación ante las diversas amenazas que surgirán.

Pese a que ilustres investigadores a través de la historia pasada y presente, como Stephen Hawking mencionan sus premisas, como por ejemplo: “Los principios de la informática cuántica se entienden perfectamente, lo difícil es su implementación, en la práctica” (Schlegel, 1971). Se puede inferir que es un arranque complicado, tedioso, nada fácil, pero seguramente cuando esa nave de nueva tecnología y conocimiento logre despegar, estará en una carrera directa, con obstáculos, pero con una experiencia y una visión panorámica lo suficientemente buena para superarlos y continuar hacia la meta.

Una de las premisas del ordenador cuántico es que requiere mantener las superposiciones cuánticas para que funcione correctamente, lo cual ha sido objeto de estudio, y seguramente se irán publicando diferentes teorías científico informáticas acerca de las mismas, pero como se ha mencionado anteriormente, no solo los científicos van a tener acceso a esta información, sino también la sociedad en general, incluyendo a los delincuentes

informáticos, los cuales van a tener como reto poder encontrar las falencias dentro de esas implementaciones de la superposición cuántica, buscando identificar los patrones de organización de las partículas, o incluso seguir el mismo camino que la ciencia seguirá para controlarlos, teniendo en cuenta que dentro de las técnicas de hacking se encuentran algunas como la suplantación de la identidad o la ingeniería social, que también se irían adaptando a su nuevo ambiente para seguir siendo aprovechadas.

La segunda revolución cuántica consiste en que hoy en día seamos capaces de manipular sistemas cuánticos individuales, moléculas individuales, átomos individuales, o fotones individuales. Hasta el momento después de la primera revolución cuántica, se podían manipular conjuntos, por ejemplo un láser que produciría miles de millones de fotones, y que hoy se puedan manejar cuantos individuales, abre una nueva e inmensa área para el desarrollo tecnológico, pero igual queda la inquietud que pese a ese gran avance que puede significar, nada nos asegura que los intrusos lleguen a obtener el mismo conocimiento y sacar las mismas conclusiones para seguir haciendo de las suyas.

En la criptografía clásica se piensa que el sistema es seguro porque el supuesto fisgón no puede resolver un difícil problema informático. En la criptografía cuántica no se puede descifrar un código criptográfico cuántico a menos que se descifren las leyes de la física. La pregunta es, ¿qué nos asegura que los delincuentes informáticos no lo lograrán por su sed de vulnerar los sistemas de información?

## Referencias

- Abajo, C. y Abajo, C. (2016). Teléfonos que reconocen a su dueño por la forma de teclear. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Telefonos-que-reconocen-a-su-dueno-por-la-forma-de-teclear\\_a32737.html](http://www.tendencias21.net/Telefonos-que-reconocen-a-su-dueno-por-la-forma-de-teclear_a32737.html)
- Abbott, S., White, M., & Gribbin, J. (1999). Stephen Hawking: A Life in Science. *The Mathematical Gazette*, 83(496), 164. <http://dx.doi.org/10.2307/3618731>
- ABC. (2016). *La Ley de Moore camina hacia su muerte*. Recuperado de [http://www.abc.es/tecnologia/informatica/abci-ley-moore-camina-hacia-muerte-201602170301\\_noticia.html](http://www.abc.es/tecnologia/informatica/abci-ley-moore-camina-hacia-muerte-201602170301_noticia.html)
- ABC. (2016). *La NASA logra la teleportación cuántica a la distancia record de 25 kilómetros*. Recuperado de <http://www.abc.es/ciencia/20141121/abci-nasa-teleportacion-cuantica-201411211711.html>
- Agenciasinc, S. (2012). Seguridad para la futura computación cuántica en la 'nube'. *Agenciasinc.es*. Recuperado de <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Seguridad-para-la-futura-computacion-cuantica-en-la-nube>
- Arcos, E. y Berazaluce, I. (2011). Superconductividad para trenes de levitación magnética-Cooking Ideas. *Cooking Ideas*. Recuperado de <http://www.cookingideas.es/superconductividad-para-trenes-que-levitan-20111019.html>
- Biografiasyvidas, (2016). *Biografía de Erwin Schrödinger*. Recuperado de <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/s/schrodinger.htm>
- Biografiasyvidas. (2016). *Biografía de Louis de Broglie*. Recuperado de <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/b/broglie.htm>
- Biografiasyvidas (2016). *Biografía de Richard Philips Feynman*. Recuperado de <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/s/schrodinger.htm>
- Bohr N. (1999). Collected Works. Volume 7: Foundations of Quantum Physics II (1933-1958) *Niels Bohr Jorgen Kalckar. Isis*, 90(1), 143-144. <http://dx.doi.org/10.1086/384293>
- Broadbent, T., Whiteside, D., y Newton, I. (1970). The Mathematical Papers of Isaac Newton. III. 1670-1673. *The Mathematical Gazette*, 54(388), 166. <http://dx.doi.org/10.2307/3612116>
- Campillo, S. (2015). D-Wave 2x, el nuevo ordenador cuántico de la NASA y Google. Hipertextual. Recuperado de <http://hipertextual.com/2015/09/d-wave-2x>
- Cdc. (2016). *Peligro por la presencia de plomo en algunos juguetes y joyas de juguete que se regalan en las fiestas - CDC en Español*. Recuperado de <http://www.cdc.gov/spanish/especialescdc/peligrosplomo>
- Copeland, J. (2007). The Church-Turing Thesis. *Neuroquantology*, 2(2). <http://dx.doi.org/10.14704/nq.2004.2.2.40>
- Punset, E. (2011). Redes-La incertidumbre del universo cuántico, Redes-RTVE.es A la Carta. RTVE.es. Recuperado de <http://www.rtve.es/alacarta/videos/redes/redes-incertidumbre-del-universo-cuantico/1094700/>
- FayerWayer. (2016). *fayerwayer*. Recuperado de <https://www.fayerwayer.com/2009/09/lo-gran-ejecutar-el-algoritmo-de-shor-en-un-chip-de-silicio>
- Gómez, J. (2016). La realidad cuántica revoluciona el mundo de la información. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/La-realidad-cuantica-revoluciona-el-mundo-de-la-informacion\\_a133.html](http://www.tendencias21.net/La-realidad-cuantica-revoluciona-el-mundo-de-la-informacion_a133.html)

- Gómez, P. (2010). Cuántica sin fórmulas-El detector de bombas de Elitzur-Vaidman-El Tamiz. Eltamiz.com. Retrieved 8 May 2016, from <http://eltamiz.com/2010/07/21/cuantica-sin-formulas-el-detector-de-bombas-de-elitzur-vaidman/>
- Hamlin, N., Krishnamoorthy, B., & Webb, W. (2016). Un antiguo sistema de cifrado podría proteger de los ordenadores cuánticos. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Retrieved 8 May 2016, from [http://www.tendencias21.net/Un-antiguo-sistema-de-cifrado-podria-proteger-de-los-ordenadores-cuanticos\\_a40113.html](http://www.tendencias21.net/Un-antiguo-sistema-de-cifrado-podria-proteger-de-los-ordenadores-cuanticos_a40113.html)
- Jiménez, J. (2016). ¿El principio del fin de la criptografía actual? Crean la primera computadora cuántica escalable. Xataka.com. Recuperado de <http://www.xataka.com/investigacion/el-principio-del-fin-de-la-criptografia-actual-crean-la-primer-computadora-cuantica-esclable>
- Kelly, J., Barends, R., Fowler, A., Megrant, A., Jeffrey, E., y White, T. et al. (2015). State preservation by repetitive error detection in a superconducting quantum circuit. *Nature*, 519(7541), 66-69. <http://dx.doi.org/10.1038/nature14270>
- Leach, J. (2016). La inmensidad del cerebro es similar a la del universo. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/La-inmensidad-del-cerebro-es-similar-a-la-del-universo\\_a27705.html](http://www.tendencias21.net/La-inmensidad-del-cerebro-es-similar-a-la-del-universo_a27705.html)
- Martínez, E. (2016). La conciencia se perfila como un proceso cuántico. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/La-conciencia-se-perfila-como-un-proceso-cuantico\\_a155.html](http://www.tendencias21.net/La-conciencia-se-perfila-como-un-proceso-cuantico_a155.html)
- Moret B, V. (2016). *Principios fundamentales de Computación Cuántica*. Recuperado de [http://www.lidiagroup.org/images/descargas/varios/011\\_ccuantica.pdf](http://www.lidiagroup.org/images/descargas/varios/011_ccuantica.pdf)
- Moriello, S. (2016). Las máquinas conscientes son el siguiente reto tecnológico. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Las-maquinas-conscientes-son-el-siguiente-reto-tecnologico\\_a296.html](http://www.tendencias21.net/Las-maquinas-conscientes-son-el-siguiente-reto-tecnologico_a296.html)
- Mott, A. (1965). James Clerk Maxwell. *Phys. Bl.*, 21(5), 205-207. doi: 10.1002/phbl.19650210503
- Navau, C., Prat-Camps, J., Romero-Isart, O., Cirac, J., y Sanchez, A. (2014). Long-Distance Transfer and Routing of Static Magnetic Fields. *Phys. Rev. Lett.*, 112(25). doi: 10.1103/physrevlett.112.253901
- Noticias de la Ciencia, (2016). Sensores cuánticos biocompatibles-*Noticias de la Ciencia y la Tecnología (Amazings®/NCYT®)*. Recuperado de [http://noticiasdelaciencia.com/not/8969/sensores\\_cuanticos\\_biocompatibles/](http://noticiasdelaciencia.com/not/8969/sensores_cuanticos_biocompatibles/).
- Pagliano, F., Cho, Y., Xia, T., van Otten, F., John, R., y Fiore, A. (2014). Dynamically controlling the emission of single excitons in photonic crystal cavities. *Nature Communications*, 5(5786) doi: 10.1038/ncomms6786
- Paparo, G., Dunjko, V., Makmal, A., Martin-Delgado, M., y Briegel, H. (2014). Quantum Speedup for Active Learning Agents. *Phys. Rev. X*, 4(3). doi: 10.1103/physrevx.4.031002
- Pérez, P. (2016). Avance en computación cuántica: Crean un chip de silicio que genera sus propios fotones. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Avance-en-computacion-cuantica-Crean-un-chip-de-silicio-que-genera-sus-propios-fotones\\_a30445.html](http://www.tendencias21.net/Avance-en-computacion-cuantica-Crean-un-chip-de-silicio-que-genera-sus-propios-fotones_a30445.html)

- Pérez, P. (2016). La Inteligencia Artificial abandona la supercomputadora para meterse en la Nube. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/La-Inteligencia-Artificial-abandona-la-supercomputadora-para-meterse-en-la-Nube\\_a34803.html](http://www.tendencias21.net/La-Inteligencia-Artificial-abandona-la-supercomputadora-para-meterse-en-la-Nube_a34803.html)
- Pérez, P. (2016). La tecnología cuántica llega a la vida cotidiana. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/La-tecnologia-cuantica-llega-a-la-vida-cotidiana\\_a41335.html](http://www.tendencias21.net/La-tecnologia-cuantica-llega-a-la-vida-cotidiana_a41335.html)
- Pérez, P. (2016). Twitter revela dónde vives, incluso con la geolocalización desactivada. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Twitter-revela-donde-vives-incluso-con-la-geolocalizacion-desactivada\\_a32288.html](http://www.tendencias21.net/Twitter-revela-donde-vives-incluso-con-la-geolocalizacion-desactivada_a32288.html)
- Pérez, P. (2014). Un nuevo teclado virtual permitirá escribir sin dispositivo físico. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Un-nuevo-teclado-virtual-permitira-escribir-sin-dispositivo-fisico\\_a33566.html](http://www.tendencias21.net/Un-nuevo-teclado-virtual-permitira-escribir-sin-dispositivo-fisico_a33566.html)
- Pérez, P. (2016). India identifica a 540 millones de ciudadanos mediante el escaneo de iris. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/India-identifica-a-540-millones-de-ciudadanos-mediante-el-escaneo-de-iris\\_a30763.html](http://www.tendencias21.net/India-identifica-a-540-millones-de-ciudadanos-mediante-el-escaneo-de-iris_a30763.html)
- Pérez, P. (2016). Un software recurre a técnicas de hackeo para reforzar la seguridad de sitios web. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Un-software-recurre-a-tecnicas-de-hackeo-para-reforzar-la-seguridad-de-sitios-web\\_a37284.html](http://www.tendencias21.net/Un-software-recurre-a-tecnicas-de-hackeo-para-reforzar-la-seguridad-de-sitios-web_a37284.html)
- Polo, D. & Polo, D. (2014). Firma digital-¿Qué es y para qué sirve? *Emprender Fácil*. Recuperado de <http://www.emprender-facil.com/es/firma-digital-que-es-y-para-que-sirve/>
- Qian, X., Little, B., Howell, J., y Eberly, J. (2015). Shifting the quantum-classical boundary: theory and experiment for statistically classical optical fields. *Optica*, 2(7), 611. <http://dx.doi.org/10.1364/optica.2.000611>
- Rivera, P. y Valencia, J. (2016). *Validación de la metodología para el análisis de mercurio en agua tratada y cruda, y estandarización del análisis de mercurio en pescados por el método de absorción atómica-vapor frío para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3659/1/5430858R621.pdf>
- RTVE. (2014). Científicos españoles inventan un simulador cuántico que recrea fenómenos físicos imposibles- *RTVE.es*. Recuperado de <http://www.rtve.es/noticias/20140829/cientificos-espanoles-inventan-simulador-cuantico-recrea-fenomenos-fisicos-imposibles/1001643.shtml>
- Sánchez Ron, J. (2000). Planck, Einstein y los orígenes de la física cuántica. *Arbor*, 167(659-660), 423-436. doi: 10.3989/arbor.2000.i659-660.1173
- Schlegel, R. (1971). The Einstein-Podolsky-Rosen Paradox. *Am. J. Phys.*, 39(4), 458. doi: 10.1119/1.1986185
- Teleobjetivo (2016). Criptografía cuántica para proteger el recuento electoral » *Teleobjetivo*. Recuperado de <http://www.teleobjetivo.org/blog/criptografia-cuantica-para-proteger-el-recuento-electoral.html>
- T21, R. (2016). IBM anuncia dos importantes avances hacia la fabricación del ordenador cuántico práctico. *Tendencias 21. Ciencia,*

- tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/IBM-anuncia-dos-importantes-avances-hacia-la-fabricacion-del-ordenador-cuantico-practico\\_a40334.html](http://www.tendencias21.net/IBM-anuncia-dos-importantes-avances-hacia-la-fabricacion-del-ordenador-cuantico-practico_a40334.html).
- T21, R. (2016). Un software que emula a un niño de 13 años marca un hito en la historia de la informática. *Tendencias 21. Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Un-software-que-emula-a-un-nino-de-13-anos-marca-un-hito-en-la-historia-de-la-informatica\\_a34563.html](http://www.tendencias21.net/Un-software-que-emula-a-un-nino-de-13-anos-marca-un-hito-en-la-historia-de-la-informatica_a34563.html)
- T21, (2016). Un software permite hacer una instalación domótica ‘casera’. *Ciencia, tecnología, sociedad y cultura*. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Un-software-permite-hacer-una-instalacion-domotica-casera\\_a32895.html](http://www.tendencias21.net/Un-software-permite-hacer-una-instalacion-domotica-casera_a32895.html)
- Vedral, V. (2010). *Decoding reality*. Oxford: Oxford University Press.
- Uco, (2016). Radiación del cuerpo negro-Hipótesis de Planck. *Uco.es*. Recuperado de <http://www.uco.es/hbarra/index.php/fc/apuntesfc/202-fc0101>
- Ver-documentales.net. (2016). *Revolución Cuántica-documental online*. Recuperado de <http://www.ver-documentales.net/revolucion-cuantica/>.
- Yuan, X., Assad, S., Thompson, J., Haw, J., Vedral, V., y Ralph, T. *et al.* (2015). Replicating the benefits of Deutschian closed timelike curves without breaking causality. *Npj Quantum Information*, 1, 15007. doi: 10.1038/npjqi.2015.7
- Zhang, X., Shen, Y., Zhang, J., Casanova, J., Lamata, L., & Solano, E. *et al.* (2015). Time reversal and charge conjugation in an embedding quantum simulator. *Nature Communications*, 6, 7917. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms89>

“El maestro  
que intenta enseñar  
sin inspirar en el  
alumno  
el deseo de  
aprender  
está tratando  
de forjar un hierro  
frío”

HORACE MANN.

