

DI VUL ESPACIO DEL GADOR

COMPUTACIÓN CUÁNTICA: NUEVA REVOLUCIÓN DE LA FÍSICA

*"Para unos, la ciencia es una sublime diosa, para otros,
una vaca que suministra excelente mantquilla."*
Friedrich von Schiller

*"Para que tales iniciativas tecnológicas lleguen a ser
comprendidas y apoyadas es esencial que se produzca un
mejoramiento sustancial del conocimiento científico y
técnico por parte de la mayoría de la humanidad."*
Carl Sagan

MÁXIMO AGÜERO GRANADOS*

Cuando los humanos se toparon con ciertos cálculos que no podían realizar mediante métodos que ya conocían, empezaron a recurrir a la ayuda de mecanismos automatizados.

La historia del surgimiento y desarrollo de las computadoras, ya sean personales, estaciones de trabajo u otras, tuvo su origen exclusivamente en las necesidades primordiales de realizar cálculos extensos por parte de los científicos de las ciencias naturales (áreas duras) de todo el mundo. Pero, ¿y el internet cómo surgió?

Veamos este punto crucial. Para poder escribir y enlazar documentos o archivos en internet se usa el lenguaje llamado HyperText Markup Language o HTML, que fue creado por los físicos de altas energías del Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN por sus siglas en francés) en Ginebra, Suiza, encabezados por



Tim Nberneers-Lee quien ahora es director del consorcio World Wide Web (www). Ellos, al inicio, querían estar en continua comunicación para transferir datos de experimentos, de cálculos, etcétera, y estar al día con las novedades de la física. Pero rápidamente sus descubrimientos fueron diseminados y se hizo común el uso de este lenguaje en cientos de instituciones europeas y americanas. El www es una larga colección de documentos distribuidos en millones de computadoras y cada una ejecuta una fracción de *software* en un llamado Servidor Web que está a la espera de pedidos

de otras máquinas para enviar o recibir documentos.

Así, muchos hitos en la historia de la tecnología se han visto envueltos en el descubrimiento de nuevos caminos para aprovechar a la naturaleza y explotar las nuevas fuentes de materiales, de fuerzas y de energías. El manejo y análisis de la información fueron adheridos a esta lista cuando, en el siglo XX, se inventaron las computadoras que podrían hacer cálculos fuera del cerebro humano.

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. Actualmente, la técnica litográfica puede hacer puertas lógicas e hilos de longitudes meno-

de otras máquinas para enviar o recibir documentos.

* Facultad de Ciencias, UAEM.
Correo electrónico: mag@coatepec.uaemex.mx

res que un micrón a través de la superficie de los chips de silicio. Los físicos, en el futuro, posiblemente también obtendrán elementos mucho más pequeños, quizá hasta alcanzar dimensiones del tamaño promedio de varios átomos.

Las leyes de la física clásica, la que gobierna al mundo macroscópico en el cual estamos inmersos, describen razonablemente al mundo cotidiano. Pero las leyes de la mecánica cuántica que predomina en el mundo de escalas atómicas tienen diferentes características. Si las computadoras actualmente tienden a ser más pequeñas y rápidas, la tecnología cuántica reemplazará lo que tenemos hoy en día. Pero los sistemas cuánticos nos ofrecerán mucho más: podrán soportar nuevos modos de computación con algoritmos cuánticos que no tienen analogía clásica. Como es conocido, la base de toda computación está en el uso de un sistema binario de números; es decir, que se usan el 0 y el 1. Es sorprendente que una computadora interprete toda información sólo con estos dos elementos. Pero, ¿cómo es que esto ocurre? Para ella, en muchos casos, es suficiente que a través de ciertas partes de sus circuitos pase o no corriente eléctrica. Si pasa corriente puede significar 1, y si no pasa lo interpretará como 0. Es algo similar al uso del *sí* y del *no*, dos fuerzas antagónicas que podrían soportar toda la complejidad del universo: atracción y repulsión.

La idea de una computadora cuántica fue concebida en los años ochenta por Paul Benioff de la National Argonne Laboratory.

¿Qué hace que las computadoras cuánticas sean diferentes a las clásicas? Como sabemos, la unidad básica de la información es el *bit* que, desde el punto de vista físico, es un sistema que posee dos estados pero sólo puede estar en uno de ellos en un momento determinado: en el *no* o en el *sí* (operaciones llamadas de Boolean),

falso o *verdadero*, o simplemente 0 y 1. Como se puede ver, la base de estas estructuras consiste en dos cosas totalmente inversas una a otra o complementarias. A esta estructura también se le llama sistema binario.

En las computadoras digitales, por ejemplo, el voltaje entre las placas de un condensador puede representar un bit de información. Cuando el condensador está cargado entonces se tiene 1, y la ausencia de carga representa 0. Cualquier realización física de un bit necesita un sistema con dos estados perfectamente definidos, pues se requiere que entre el 0 y el 1 exista una barrera energética infranqueable que impida que el sistema espontáneamente cambie de un estado a otro. Un bit de información también puede ser codificado usando dos diferentes polarizaciones de la luz, dos diferentes estados electrónicos de un átomo.

Los sistemas de dos estados también son usados para codificar información en sistemas cuánticos y es común denotar a estos estados por los símbolos propuestos por el inglés Paul Dirac (Premio Nobel de Física) llamados brackets. La ingeniosa notación de Dirac consiste en dividir en dos partes a la palabra *bracket*: los estados que tienen la forma $\langle 0 |$ $\langle 1 |$ serán los llamados *BRA* vectores, y los estados conjugados de los anteriores $| 0 \rangle$ y $| 1 \rangle$ se denominan *KET* vectores.

Lo realmente novedoso en la tecnología de información cuántica es que un sistema cuántico puede encontrarse en una superposición de otros estados cuánticos. Es decir, un *bit* cuántico puede estar en ambos estados, en $| 0 \rangle$ y en $| 1 \rangle$, al mismo tiempo. Estos nuevos estados no tienen analogía clásica, lo que es realmente misterioso. En 1995, Ben Schuhmacker, del Kenyon College (Estados Unidos), acuñó el término *qubit* para describir al bit cuántico. Un ejemplo clásico de

superposición cuántica es el experimento de doble rendija, que consiste en pasar un rayo de partículas a través de una rendija doble y formar un patrón de interferencia sobre la pantalla receptora. La interferencia cuántica se observa independientemente de si trabajamos con la emisión de una sola partícula cada cierto tiempo o con un haz de ellas. El experimento hay que realizarlo de tal manera que sea imposible determinar por cuál de las dos rendijas ha pasado la partícula hasta llegar a la pantalla.

La interferencia cuántica puede ser explicada a partir de que la partícula se encuentra en una superposición de dos caminos experimentales: $| \text{paso a través de la rendija superior} \rangle$ y $| \text{paso a través de la rendija inferior} \rangle$. Al primer camino podríamos representarlo como estado $| 0 \rangle$ y al segundo camino como estado $| 1 \rangle$. De la misma manera el bit cuántico puede estar en una superposición de $| 0 \rangle$ y de $| 1 \rangle$. Durante el procesamiento de información cuántica los experimentadores tienden a usar interferómetros más frecuentemente que las dos rendijas, pero el principio es el mismo.

Un qubit es parecido al clásico bit, pues registra información en uno o dos estados accesibles de un sistema físico. A diferencia de un switch clásico, un sistema cuántico representado por un neutrón tiene más de dos estados accesibles que pueden jugar algún papel en la computación. El neutrón puede estar en una superposición de dos estados cuánticos de spin arriba y de spin abajo, y simultáneamente registra el 0 y el 1.

En resumen, un sistema cuántico (por ejemplo un átomo) puede ser usado como un qubit si es posible definir algunos de sus estados como $| 0 \rangle$ y $| 1 \rangle$. Desde el punto de vista práctico, es importante tener estados que se puedan distinguir entre sí y que sean razonablemente longevos (por supuesto, dentro de los límites del experimento), de tal manera que la informa-

multáneamente el resultado de 2^{80} , es decir, aproximadamente de un 1 seguido de 24 ceros de diferentes combinaciones. Estas mismas posibilidades se podrían dar en lo referente a la encriptación de información y mucho más.

En la actualidad, la extracción de un resultado deseado de la superposición cuántica es complicada y hacer el *hardware* que pueda realizar la computación cuántica no es tarea fácil. Los principales desafíos de investigación en esta área son las dificultades en la ingeniería para evadir la descoherencia producida por las interacciones no deseadas con el medio. Una variedad de técnicas, como el bombeo óptico, puede ser usada para construir las entradas (*input*) y medir las salidas (*output*) de los estados. Para corregir la descoherencia y errores comunes, es necesario el uso de códigos propios para tales fines. Parece ser que estos códigos serán las partes fundamentales de cualquier computadora cuántica que funcione en el futuro. En los últimos años los científicos han hecho significativos progresos en la corrección de errores, lo que hace posible que pronto tengamos computadoras cuánticas.

Uno de los más prometedores ejemplos de una computadora cuántica es un sistema de dos-qubits que usa un simple ion de berilio en una trampa de iones, en el cual el ion está controlado por un rayo láser apropiadamente enfocado y polarizado. Actualmente en el Quantum Computing and Information Consortium (QUIC) —organismo apoyado por la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)—, un grupo de científicos del MIT, el Caltech y la Universidad de California del Sur, han mostrado que la interacción entre fotones y un átomo en una cavidad óptica puede servir como base de una puerta lógica cuántica. La colaboración QUIC ha demostrado experimentalmente que los qubits pueden ser almacenados sobre

la polarización de fotones y hacer que interactúen a través de una interacción común no-lineal de estos fotones con el átomo, de tal manera que se pueda hacer rotar la polarización de un fotón condicionado por el estado del otro. Este tipo de puerta lógica cuántica se llama puerta de rotación controlada. Otro grupo de la Ecole Normale Supérieure, en París, usa un método similar que consiste en controlar átomos por fotones atrapados en una cavidad superconductora.

Además de las puertas cuánticas lógicas, la colaboración QUIC está construyendo cavidades ópticas que pueden ser acopladas juntas como el primer enlace en un internet cuántico, es decir, como un grupo de aparatos cuánticos lógicos que podrían intercambiar información.

El tercer tipo de artefacto de computación cuántica está basado en el fenómeno de resonancia magnética nuclear (RMN), este fenómeno se usa en muchos aparatos de medicina. Sin ir a los detalles, este método consiste en colocar una sustancia de muestra en un campo magnético, que causa que los spines del núcleo de los átomos queden alineados con la dirección del campo magnético. Si adicionalmente llega un campo magnético oscilante con la misma frecuencia, entonces los spines realizan un giro, un golpe. Esto nos permite tener nuevamente la operación booleana del sí y del no, llamada también operación No y Sí-controlada y, por lo tanto, al 0 y 1. Los primeros intentos por usar la RMN se encontraron con la inconveniencia de que estos aparatos tendrían que trabajar a bajas temperaturas; sin embargo, avances recientes en la computación cuántica nuclear magnética de los grupos del MIT y Harvard mostraron que es posible usar la RMN de computación cuántica a temperatura ambiente.

A pesar de las serias dificultades que se presentan en esta apasionante aven-

tura del conocimiento humano, se avicina una gran revolución en la informática, en la computación, que drásticamente cambiará nuestra forma de resolver problemas complejos de computación.

Otra vez nos percatamos que los avances tecnológicos para bien de la humanidad surgen debido a la intensa búsqueda de conocimientos que realizan los científicos en las áreas básicas de las ciencias naturales. Lo principal aquí es la actividad científica del ser humano, su inquietud natural inherente de entender el mundo en el cual vive. En nuestro caso particular la heroína de la novela es la mecánica cuántica. Una ciencia que en casos bastante patéticos salvó la vida a inminentes sabios del siglo XX. Pero esto será motivo de otra colaboración.

Las aplicaciones de las investigaciones científicas aparecen siempre como consecuencias directas, sin previo aviso a veces, por caminos extraños e impredecibles. Las computadoras cuánticas surgen de manera natural como un corolario matemático de la física cuántica. Aún más, quienes crearon las primeras computadoras personales actuales, nunca pensaron en desarrollar computadoras con multimedia y todo para su casa, si en realidad ellos mismos necesitaban fondos para sus investigaciones. ☺

PARA AHONDAR MÁS EN EL TEMA SE PUEDE CONSULTAR:

Haroche, S. y Raimond, M. (1996). "Quantum Computing: Dream or Nightmare?" Part 1, en *Physics Today* 49 (8): 51.

Preskill, J. (1997). "Quantum Computing: Pro and Con.", en *quant-ph/9705032*.

Deutsch, D. (1985). "Quantum Theory: The Church-Turing Principle and the Universal Quantum Computer", en *Proc. R. Soc. London, Ser. A* 400 (1818): 97-117.

También pueden visitar la página Web:

<http://feynman.stanford.edu/qcomp/>