



La computación cuántica no viene a sustituir a la clásica. Más bien, se utiliza para enfrentar problemas de tanta dificultad que entran en la línea de lo imposible de resolver con la computación convencional. Para llegar a ella, tenemos un apasionante camino de retos por resolver. Entre ellos, el desafío energético que supone.

TEXTO: **MARÍA JOSÉ CALDERÓN**
ILUSTRACIÓN: **VAN SAIYAN**

**EL
DESAFÍO
DE
RESOLVER
LO
IMPOSIBLE
MUY
CERCA**

**DEL CERO
ABSOLUTO**

Alto tiempo de coherencia, rapidez en las operaciones y escalabilidad. Estas serían las tres limitaciones físicas que nos encontramos hoy en día para fabricar un ordenador cuántico universal. La complejidad de los computadores cuánticos no se limita a la plataforma física con la que se fabrican los cúbits (circuitos superconductores o iones/átomos son los más avanzados en la actualidad), sino que requiere complejos sistemas electrónicos u ópticos de control que permitan la inicialización, manipulación y medición de los cúbits.

En muchas de las plataformas actuales, la temperatura es otro factor limitante, ya que destruye la coherencia, y tenemos que trabajar a temperaturas criogénicas, típicamente de milikelvins, muy cerca del cero absoluto. Toda esta infraestructura se traduce en que la imagen actual de un computador cuántico sea similar a la de aquellos primeros ordenadores clásicos que ocupaban habitaciones enteras, antes de la invención del circuito integrado... aunque esta vez los armarios son criostatos — dispositivos que mantienen muy bajas temperaturas, bajo cero—.

Estos requerimientos nos podrían hacer pensar que los ordenadores cuánticos están abocados a dejar una importante huella energética. Sin embargo, aunque los sistemas de refrigeración y control consumen una cantidad considerable de energía, también lo hacen los supercomputadores convencionales. Cuando un ordenador cuántico sea capaz de resolver en un tiempo corto un problema inasumible por los ordenadores clásicos, el balance energético será favorable.

La primera limitación para el desarrollo de la computación cuántica la encontramos en el ▶

10 kWh x 50 =

software: aún conocemos pocos algoritmos cuánticos que exploten las propiedades de superposición y el entrelazamiento. Entre los más conocidos, tenemos el algoritmo de Grover, que permite acelerar ciertos problemas de búsqueda, o el de Shor, que es capaz de factorizar números muy grandes y que comprometería muchos de los sistemas de criptografía de clave pública que usamos actualmente. Más allá de estos ejemplos, el catálogo de aplicaciones que darían lugar a una ventaja cuántica es reducido.

La segunda limitación, con muchas aristas, la encontramos en las implementaciones físicas de los cúbits. Hay un tiempo limitado (el de coherencia) para hacer operaciones cuánticas antes de que el sistema pierda su naturaleza cuántica. En el análogo clásico de un péndulo, el tiempo de coherencia sería aquel en el que se mantienen las oscilaciones sin sufrir ninguna variación, sin frenarse. La coherencia se pierde debido a la interacción con el medio y solo se puede ejecutar un número limitado de operaciones antes de que aparezcan errores.

Otro factor relevante es la fidelidad de la operación, que depende de cómo se realiza la manipulación de los estados cuánticos. En el análogo del péndulo, la fidelidad vendría dada por la eficiencia con la que impulsamos el péndulo para que se mueva exactamente como queremos. Si el resultado final del impulso es exactamente lo que pretendíamos, la fidelidad de esa operación sería 1. Tanto la decoherencia como una fidelidad imperfecta dan lugar a errores.

La corrección de errores en los ordenadores clásicos se basa principalmente en la redundancia de la información. En los ordenadores cuánticos, sin embargo, no se puede copiar la información, ya que


“Cuando un ordenador cuántico sea capaz de resolver en un tiempo corto un problema inasumible por los ordenadores clásicos, el balance energético será favorable”

para hacerlo habría que medir el cúbit y, por tanto, ¡se destruiría la superposición! La corrección de errores se lleva a cabo, entonces, de manera indirecta utilizando un gran número de cúbits físicos por cada cúbit lógico que queramos codificar. Para ello, se guarda la información de forma distribuida en muchos cúbits físicos de forma que se pueda detectar si ha habido un fallo y corregirlo sin medir el estado. El número total de cúbits físicos requeridos para codificar un cúbit lógico puede ser del orden de miles, lo que implica que necesitamos millones de cúbits para tener un ordenador cuántico universal (es decir, un ordenador que pueda ejecutar cualquier algoritmo cuántico).

Cualquier plataforma física que pretenda conseguir este objetivo tiene que ser realmente escalable, es decir, tiene que ser compatible con la fabricación de muchos cúbits iguales y suficientemente aislados para que no interfieran cuando no queremos.

UN HORIZONTE RICO EN POSIBILIDADES

El camino para perfeccionar los ordenadores cuánticos no se limita a hacer mejoras en ingeniería, fabricación y diseño de arquitectura usando ideas y materiales ya conocidos. La realidad es mucho más rica e interesante desde el punto de vista físico, ya que aún seguimos explorando y encontrando nuevas formas de implementar los cúbits y manipularlos en sistemas potencialmente escalables usando tecnologías muy desarrolladas, como los semiconductores, o con tiempos de coherencia radicalmente mayores, como los prometidos por protección topológica en híbridos superconductor/semiconductor o en nuevos materiales cuánticos.

Otras alternativas, como los simuladores cuánticos o los computadores con un propósito específico, son menos exigentes con estos requerimientos y su uso efectivo se encuentra más cerca en nuestro horizonte temporal. Una línea de investigación muy activa actualmente está en el desarrollo de algoritmos cuánticos que sean capaces de usar el potencial de los ruidosos computadores cuánticos que tenemos en la actualidad. Es decir, buscar para que pueden ser útiles en esta fase intermedia de desarrollo. A esto le llamamos la era NISQ, cuántica de escala intermedia ruidosa (en inglés: *Noisy intermediate-scale quantum*). 

480 kWh

1. UN COMPUTADOR CUÁNTICO CONSUME LO MISMO QUE 50 HOGARES

Según Iberdrola, una vivienda promedio en España consume 300 kWh al mes, es decir, unos 10 kWh al día. Podemos estimar la potencia de un ordenador cuántico actual en unos 20 kW. Funcionando a su máxima capacidad, consumiría 480 kWh en un día, es decir, aproximadamente lo mismo que unas 50 viviendas.

3. EL CONTROL Y EL VACÍO

El control de los estados cuánticos es más complejo que en un bit clásico. Dependiendo de la implementación, se necesitan diferentes sistemas como láseres o generadores de microondas que también consumen energía. En todos los casos, es también necesario crear vacío, bien para evitar colisiones de moléculas de gas en el entorno en el caso de cúbits basados en átomos o iones, o para evitar la transmisión de calor por convección en los criostatos.

5. CONSUMO DE AGUA

Los superordenadores y centros de datos están en naves industriales llenas de equipos disipando calor y requieren grandes cantidades de agua para refrigerarse. Este consumo de agua no es aún un problema para los ordenadores cuánticos actuales por su relativamente pequeña escala. Esto puede cambiar en un futuro, cuando los ordenadores cuánticos se escalen por un uso más generalizado.

2. EL RETO DEL FRÍO

El chip cuántico en sí apenas consume energía; la mayor parte del gasto proviene de los sistemas de control y de refrigeración, con un balance entre ambos que depende de la tecnología en la que estén basados los cúbits. Por ejemplo, los basados en circuitos superconductores tienen que estar casi en el cero absoluto —más frío que el espacio exterior— para no sufrir decoherencia. No solo hay que bajar mucho la temperatura de los cúbits, sino que también hay que aislarlos suficientemente para mantener la diferencia de temperatura entre el ambiente (20 °C) y los cúbits (-273 °C). Además, hay que tener en cuenta el calor producido por el funcionamiento de los sistemas de control, que aumentan su complejidad con el número de cúbits.

Uno de los retos de la escalabilidad es mantener un número muy alto de cúbits a estas temperaturas criogénicas. Una solución posible sería construir computadores cuánticos de tamaños manejables (cientos de cúbits) y conectarlos en red con sistemas que no necesiten criogenia.

El consumo energético de la cuántica

Aunque el consumo energético de un computador cuántico actual es miles de veces menor que el de un superordenador convencional, su gasto por operación realizada es mayor. Hay que tener en cuenta que los superordenadores están resolviendo millones de problemas, mientras que los cuánticos aún tienen un alcance muy limitado.

4. EL HELIO ES UN RECURSO LIMITADO

El gas utilizado para alcanzar temperaturas muy bajas en los criostatos es el helio, un gas muy ligero que licúa a 4.2K (-269 °C). El helio es un bien escaso y estratégico (se usa, por ejemplo, en los aparatos de resonancia magnética para enfriar los superconductores que generan los campos magnéticos). Los criostatos usan circuitos cerrados donde circula el helio para evitar su pérdida ya que, si se liberara a la atmósfera, acabaría escapando al espacio y no se podría recuperar.

7. CONTAMINACIÓN POTENCIAL

Los componentes utilizados para la fabricación de cúbits y los sistemas de control son similares a los de la electrónica convencional (chips), por lo que su impacto medioambiental sería comparable si se fabricaran a la misma escala. El helio que se usa en los sistemas criogénicos es un gas noble químicamente inerte y no contaminante.

6. SOSTENIBILIDAD EN EL FUTURO

En el futuro, la capacidad de cálculo de los ordenadores cuánticos permitirá un uso más generalizado para ciertos problemas (algunos que ya conocemos y otros que se nos ocurrirán). ¿Cómo afectará a su consumo? La investigación a todos los niveles está centrada en conseguir mejores tiempos de coherencia y fidelidades, así como algoritmos y corrección de errores más eficientes. También hay margen de mejora en la eficiencia de la criogenia y toda la arquitectura de control. Todo esto nos llevará a poder minimizar el número de operaciones necesarias para resolver un problema. Por tanto, con la misma energía podremos hacer muchos más cálculos. El consumo absoluto puede aumentar, pero el balance neto será positivo si conseguimos resolver problemas actualmente irresolubles y que nos ayuden a optimizar nuestro uso energético global.

-273 °C

