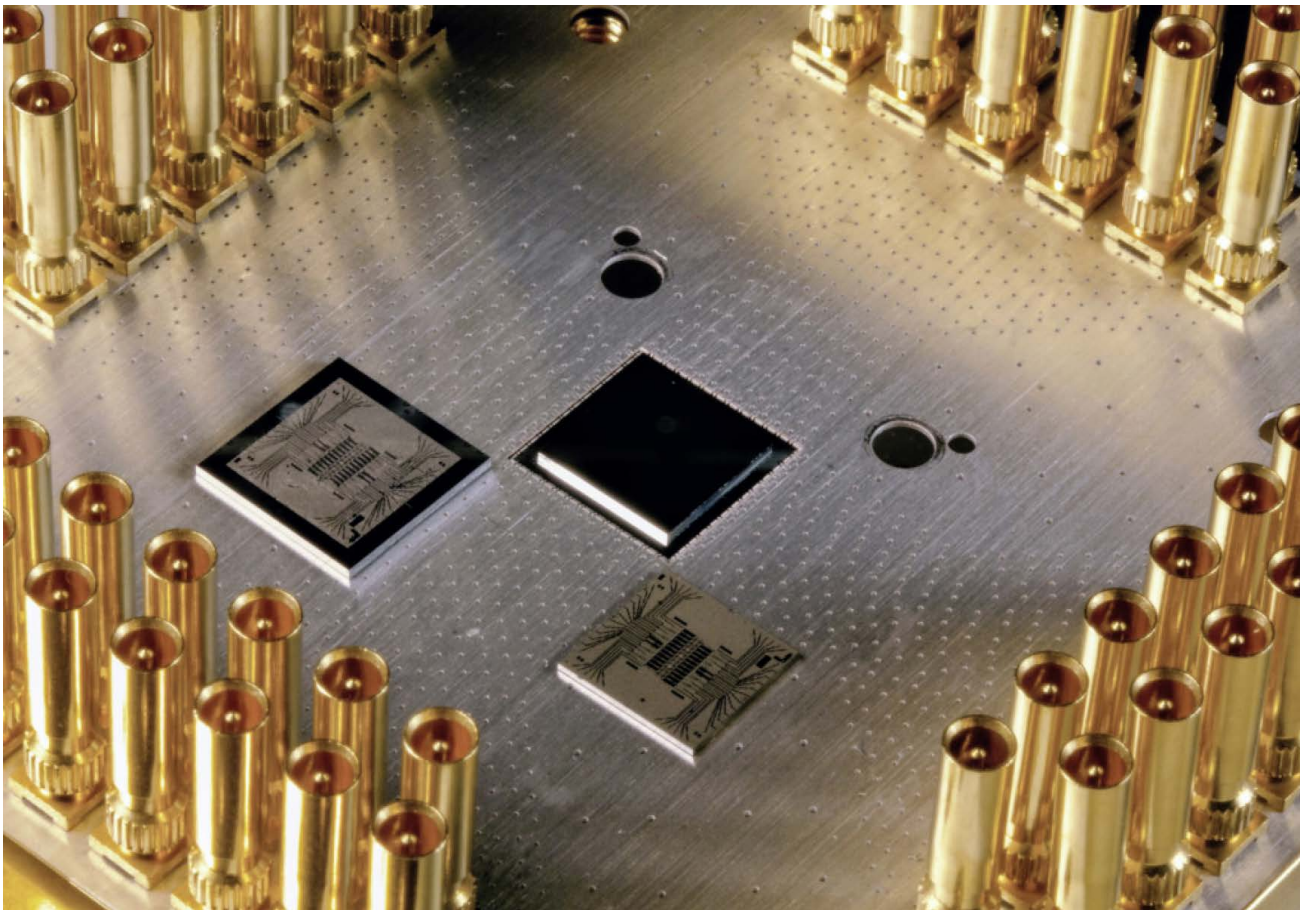


# La supremacía cuántica está cerca: lo que hay que saber

Se está cerca de construir un ordenador cuántico que puede realizar tareas inasequibles para uno clásico. Veamos aquí qué podría significar este hito

KEVIN HARTNETT



¿SE ALCANZARÁ pronto la supremacía cuántica?

Los ordenadores cuánticos no desplazarán nunca del todo a los «clásicos», como el aparato donde está usted leyendo este artículo. No ejecutará usted en ellos una busca en la Red, no hará con ellos la declaración de la renta, no verá gracias a ellos la última película de Netflix.

Ofrecerán, o al menos es lo que se espera de ellos desde hace tanto, una manera fundamentalmente diferente de realizar ciertos cálculos. Resolverán

problemas que un computador clásico rápido tardaría miles de millones de años en resolver. Harán posible la simulación de sistemas cuánticos complejos, las moléculas biológicas, por ejemplo, o factorizarán números increíblemente grandes, lo que permitirá descifrar formas de encriptación en uso desde hace mucho.

«Supremacía cuántica»: es el nombre que se le da al umbral donde los ordenadores cuánticos dejan de ser un pro-

yecto de investigación interesante para empezar a hacer cosas que las computadoras clásicas no pueden hacer. Muchos creen que el proyecto de computación cuántica de Google llegará a ella más avanzado este año. A la espera de ese acontecimiento, hemos preparado esta guía para quienes sientan curiosidad por los ordenadores cuánticos. Da la información necesaria para entender la supremacía cuántica y saber si realmente se ha llegado a ella.

## ¿Qué es la supremacía cuántica y por qué es importante?

Para lograr la supremacía cuántica, un ordenador cuántico tendría que efectuar algún cálculo que, a todos los efectos prácticos, uno clásico no podría llevar a cabo.

En cierto sentido, este hito no es natural. La tarea que se usará para poner a prueba la supremacía cuántica es un tanto artificiosa: se parece más a un número de magia que a un avance útil (volvemos a esto enseguida). Por esa razón, no todos los esfuerzos en serio de construir un ordenador cuántico tienen como objeto específico la supremacía cuántica. «Supremacía cuántica: no usamos esta expresión para nada», dice Robert Sutor, el ejecutivo responsable de la estrategia de IBM para la computación cuántica. «No nos importa lo más mínimo».

Pero, de otras formas, la supremacía cuántica marcaría un cambio en la historia de la computación. En el nivel más básico, podría conducir a unos ordenadores cuánticos que fuesen realmente útiles en ciertos problemas prácticos.

Hay una justificación histórica de este punto de vista. En la década de 1990, los primeros algoritmos cuánticos resolvieron problemas que no le interesaban en realidad a nadie. Pero los científicos de la computación que los crearon aprendieron cosas que aplicaron al desarrollo de algoritmos subsiguientes (como el de Shor, que factorizaba números grandes) que sí tenían consecuencias prácticas enormes.

«No creo que estos algoritmos hubiesen existido si la comunidad científica no hubiera trabajado antes sobre la cuestión de en qué serían buenos los ordenadores cuánticos en principio, sin preocuparse directamente del valor de uso», dice Bill Fefferman, científico de la información cuántica de la Universidad de Chicago.

El mundillo de la computación cuántica espera que se repita ahora el proceso. Al construir un ordenador cuántico que bata a los clásicos, aunque sea resolviendo un solo problema inútil, es posible que los investigadores aprendan cosas que les permitan construir más tarde un ordenador cuántico con una utilidad más amplia.

«Antes de la supremacía, la posibilidad de que un ordenador cuántico haga algo interesante es, sencillamente, nula», según Fernando Brandão, físico teórico del Instituto de Tecnología de California e investigador en Google. «La supremacía es un hito necesario».

Además, la supremacía cuántica sería un terremoto en el campo de la ciencia teórica de la computación. Durante muchos años ha actuado bajo una suposición, la «tesis extendida de Church-Turing», que dice que un ordenador clásico puede realizar eficientemente cualquier cálculo que otro tipo de ordenador efectúe eficientemente. La supremacía cuántica sería la primera violación experimental de ese principio, así que introduciría las ciencias de la computación en un mundo completamente nuevo. «La supremacía cuántica sería un avance fundamental en la forma en que vemos la computación», dice Adam Bouland, científico de la información cuántica de la Universidad de California en Berkeley.

## ¿Cómo se demuestra la supremacía cuántica?

Resolviendo un problema que un ordenador clásico no puede resolver eficientemente. Podría ser cualquier problema que se quisiera, pero se suele esperar que la primera demostración de la supremacía cuántica se refiera a uno concreto: el «muestreo de circuito aleatorio».

Un ejemplo sencillo de un problema de muestreo de un sistema aleatorio lo da un programa que simule las tiradas de un dado sin sesgos. Un programa así se ejecuta correctamente cuando muestra adecuadamente los resultados posibles y saca, pues, cuando el problema se ejecuta repetidamente, cada uno de los seis números del dado una sexta parte de las veces.

En vez de un dado, este problema candidato para la supremacía cuántica le pide a un ordenador que muestree correctamente los resultados posibles de un circuito cuántico aleatorio, que viene a ser como una serie de acciones que se pueden realizar sobre un conjunto de bits cuánticos, o qubits. Pensemos en un circuito que actúa sobre 50 qubits. A medida que pasan por el circuito, los estados de los qubits se «entrelazan» en una llamada superposición cuántica. Como resultado, al final del circuito los 50 qubits están en una superposición de  $2^{50}$  estados posibles. Si se miden los qubits, el mar de  $2^{50}$  posibilidades colapsa en una sola ristra de 50 bits. Equivale a tirar el dado, salvo que en vez de seis posibilidades hay  $2^{50}$ , un trillón aproximadamente, y no todas las posibilidades son igualmente probables.

Los ordenadores cuánticos, que sacan partido de características puramente cuánticas, como las superposiciones

y el entrelazamiento, deberían poder producir eficientemente una serie de muestras del circuito aleatorio que sigan la distribución correcta. En cambio, no se conoce un algoritmo rápido para los ordenadores clásicos que genere esas muestras, así que, a medida que el abanico de las muestras posibles aumenta, los ordenadores clásicos pueden quedar abrumados enseguida.

## ¿A qué hay que esperar?

Mientras los ordenadores cuánticos sigan siendo pequeños, los computadores clásicos podrán mantener el paso, así que para demostrar la supremacía cuántica por medio de un problema de muestreo de circuitos aleatorios los ingenieros deben ser capaces de construir unos circuitos cuánticos que tengan al menos un cierto tamaño mínimo, y hasta ahora no lo han sido.

El tamaño de un circuito viene determinado por el número de qubits con el que se empieza, combinado con el número de veces que se manipulan. Las manipulaciones se realizan en un ordenador cuántico por medio de «puertas», tal y como ocurre también en un ordenador clásico. Diferentes tipos de puertas transforman los qubits de distintas maneras: algunas voltean el valor de un solo qubit, otras combinan dos qubits de distintas formas. Si se someten los qubits a diez puertas, se dirá que el circuito tienen una «profundidad» de 10.

Para lograr la supremacía cuántica, los científicos de la computación estiman que un ordenador cuántico necesitaría resolver el problema del muestreo de circuito aleatorio para un circuito con entre 70 y 100 qubits, más o menos, y una profundidad de alrededor de 10. Si el circuito es mucho más pequeño que eso, lo probable será que un ordenador clásico pueda todavía apañárselas para simularlo, y además [las simulaciones clásicas no paran de mejorar](#).

Sin embargo, el problema al que se enfrentan los ingenieros cuánticos es que, a medida que aumenta el número de qubits y de puertas, también aumenta la tasa de errores. Y si la tasa de errores es demasiado grande, los ordenadores cuánticos pierden su ventaja sobre los clásicos.

Hay muchas fuentes de error en un circuito cuántico. La más importante es el error que se acumula en una computación cada vez que el circuito realiza una operación con las puertas.

De momento, las mejores puertas cuánticas de dos qubits tienen una tasa

de error de alrededor del 0,5%, es decir, hay alrededor de un error por cada 200 operaciones. Es astronómicamente más alta que la tasa de errores en un circuito clásico estándar, donde hay aproximadamente un error por cada  $10^{17}$  operaciones. Para exhibir la supremacía cuántica, los ingenieros tendrán que disminuir la tasa de error de las puertas de dos qubits hasta el 0,1%, más o menos.

### ¿Cómo sabremos con toda seguridad que se ha demostrado la supremacía cuántica?

Hay hitos inequívocos. La supremacía cuántica no es uno de ellos. «No es como el lanzamiento de un cohete o una explosión nuclear, donde basta mirar para saber inmediatamente si ha salido bien», dice Scott Aaronson, científico de la computación de la Universidad de Texas en Austin.

Para verificar la supremacía cuántica hay que mostrar dos cosas: que un ordenador cuántico ha realizado un cálculo deprisa y que uno clásico no podría realizar ese mismo cálculo eficientemente.

La segunda parte es la más peliaguda. Los ordenadores clásicos a veces resultan ser mejores en ciertos tipos de problemas de lo que esperaban los científicos de la computación. Mientras no se haya probado que no es posible que un ordenador clásico haga algo eficientemente, siempre habrá la posibilidad de que haya un algoritmo clásico mejor, más eficiente. Probar que no existe un algoritmo así es, seguramente, más de lo que la mayoría necesitaría para creer que se ha logrado la supremacía cuántica, pero, no obstante, quizá hará falta cierto tiempo para que se acepte cualquier aseveración de haberla alcanzado.

### ¿Estamos cerca de llegar a ella?

Según múltiples fuentes, Google está llamando a la puerta de la supremacía cuántica y podría exhibirla antes de que acabe el año. (Claro está, dijeron lo mismo en 2017). Pero varios otros grupos tienen la capacidad de lograr la supremacía cuántica pronto, entre ellos los de IBM, IonQ, Rigetti y la Universidad Harvard.

Estos grupos utilizan enfoques distintos para construir un ordenador cuántico. Google, IBM y Rigetti realizan cálculos cuánticos mediante circuitos superconductores. IonQ usa iones atrapados. La Iniciativa Harvard, dirigida por Mikhail Lukin, se vale de átomos de rubidio. El enfoque de Microsoft, que utiliza «qubits

topológicos», parece que va para largo, si es que va.

### Cada enfoque tiene sus pros y sus contras

Los circuitos cuánticos superconductores tienen la ventaja de que se hacen con materiales de estado sólido. Se pueden construir con técnicas de fabricación ya existentes y ejecutan operaciones de puerta muy rápidas. Además, los qubits no se van moviendo de aquí para allá, al contrario que en otras técnicas, lo cual podría ser un problema para estas. Pero también es cierto que hay que enfriarlos hasta temperaturas sumamente bajas y que en un chip superconductor hay que calibrar individualmente cada qubit, por lo cual resulta difícil ampliar la escala de esta técnica hasta los miles de qubits (o más) que se necesitarían para un ordenador cuántico útil.

Las trampas de iones tienen un conjunto de fortalezas y debilidades contrapuestas. Los iones individuales son idénticos, lo que viene bien para la fabricación, y las trampas de iones dan más tiempo para la realización de un cálculo antes de que los qubits queden abrumados por el ruido del entorno. Pero las puertas que se usan para operar en los iones son muy lentas (miles de veces más lentas que las puertas superconductoras) y los iones individuales pueden moverse cuando no se querría que lo hicieran.

Por ahora, parece que los circuitos cuánticos superconductores avanzan más deprisa. Pero la ingeniería de todos los enfoques tropieza con serias barreras. Hará falta un nuevo gran avance tecnológico antes de que sea posible construir el tipo de ordenadores cuánticos con los que se sueña. «He oído que se dice que la computación cuántica necesitaría un invento análogo al del transistor, un avance tecnológico que actúe casi infaliblemente y cuya escala pueda ampliarse fácilmente», dice Bouland. «Aunque los progresos experimentales recientes han sido impresionantes, tiendo a pensar que no se ha encontrado todavía nada por el estilo».

### Supongamos que se demuestra la supremacía cuántica. ¿Y entonces, qué?

Si un ordenador cuántico logra la supremacía cuántica para una tarea artificiosa como es el muestreo de circuitos aleatorios, resulta evidente que la pregunta siguiente es: vale, pero ¿cuándo hará algo útil?

Al hito de la utilidad se le llama a veces «ventaja cuántica». «La ventaja cuántica es esta idea de decir: para el caso de un uso real, un servicio financiero, la inteligencia artificial, la química, ¿cuándo se verá, y cómo se podrá verlo, que un ordenador cuántico hace algo claramente mejor que cualquier referencia clásica conocida?», según Sutor, de la IBM, que tiene varios clientes corporativos, como JPMorgan Chase y Mercedes-Benz, que han empezado a explorar aplicaciones de los chips cuánticos de IBM.

Un segundo hito sería la creación de ordenadores cuánticos tolerantes a los fallos. Estos ordenadores podrían corregir errores en un cómputo en tiempo real, permitiendo así, en principio, la existencia de cálculos cuánticos sin errores. Pero la principal propuesta para la creación de computadoras cuánticas tolerantes a los errores, el llamado «código de superficie», necesita un sobre coste masivo, de miles de qubits correctores de errores por cada qubit «lógico» que la computadora use para efectuar realmente un cómputo. Esto hace que la tolerancia a los fallos se encuentre mucho más allá del estado actual de la computación cuántica. Es una pregunta aún por responder la de si los ordenadores cuánticos tendrán que ser tolerantes a los fallos antes de que puedan hacer algo útil de verdad. «Hay muchas ideas», afirma Brandão, «pero no se puede dar nada por seguro».

Este artículo apareció originalmente en [QuantaMagazine.org](http://QuantaMagazine.org), una publicación independiente promovida por la Fundación Simons para potenciar la comprensión pública de la ciencia



#### EL AUTOR

Kevin Hartnett es redactor de *Quanta Magazine*.

#### EN NUESTRO ARCHIVO

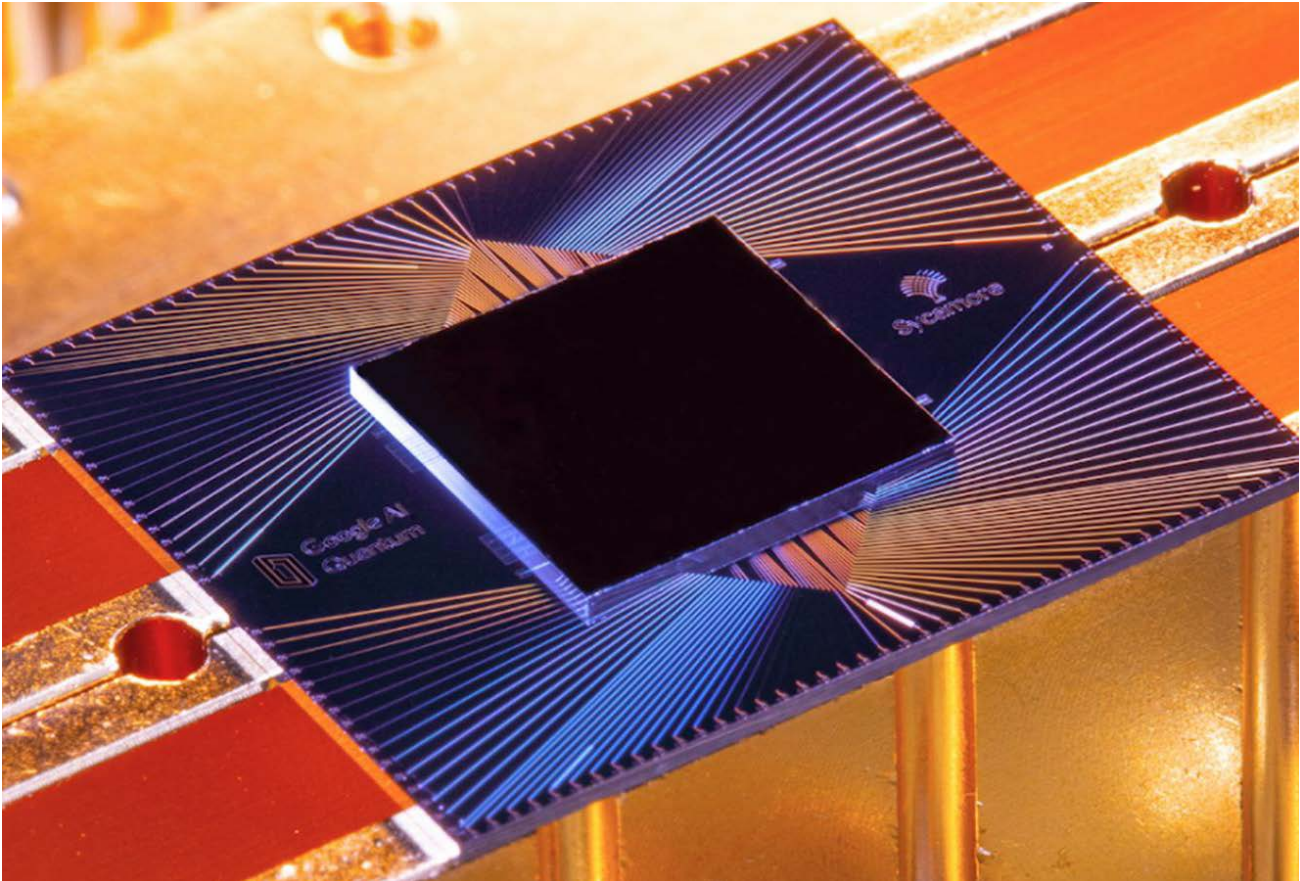
Objetivos y oportunidades de la simulación cuántica. J. Ignacio Cirac y Peter Zoller en *IyC*, noviembre de 2012.

Simulación cuántica de procesos en física de partículas. Esteban A. Martínez en *IyC*, diciembre de 2016.

# Google asegura haber alcanzado la supremacía cuántica

Su ordenador cuántico habría sido el primero en llevar a cabo un cálculo inabordable en la práctica para una máquina clásica

ELIZABETH GIBNEY



EL PROCESADOR SYCAMORE consta de 54 qubits formados por circuitos superconductores. Google afirma haberlo usado para solucionar un problema imposible de resolver en la práctica con un ordenador clásico, logrando demostrar así la supremacía cuántica.

Los científicos de Google afirman haber logrado la supremacía cuántica, un hito muy esperado en la computación cuántica. El anuncio, publicado en la revista *Nature* el 23 de octubre, llega después de que hace cinco semanas se filtrara una versión preliminar del artículo, hecho sobre el que Google no realizó ningún comentario.

En una primicia mundial, un equipo dirigido por John Martinis, físico experimental de la Universidad de Califor-

nia en Santa Bárbara y de Google en Mountain View, California, afirma que su ordenador cuántico ha efectuado un determinado cálculo que se encuentra más allá de las capacidades prácticas de las máquinas «clásicas» convencionales. Google estima que el superordenador clásico más potente tardaría más de 10.000 años en completar ese mismo cálculo.

La supremacía cuántica se considera un hito desde hace tiempo porque cons-

tituye la prueba de que los ordenadores cuánticos pueden superar a los clásicos, explica Martinis. Aunque su equipo solo ha demostrado esa ventaja en un caso muy concreto, eso confirma que la mecánica cuántica funciona según lo esperado al emplearla en un problema complejo.

«Parece que Google ha presentado la primera prueba experimental de que es posible lograr una ventaja cuántica en un sistema real», señala Michelle Simmons,

física cuántica de la Universidad de Nueva Gales del Sur, en Sídney, Australia.

Martinis compara el experimento al típico programa «hola mundo», que pone a prueba un nuevo sistema pidiéndole que imprima esa frase: no es especialmente útil en sí mismo, pero sirve para que Google constate que los componentes y algoritmos cuánticos funcionan correctamente.

La hazaña salió a la luz por primera vez en septiembre en el Financial Times y otros medios, tras filtrarse una versión preliminar del artículo en el sitio web de la NASA (agencia que colabora con Google en temas de computación cuántica), que fue eliminada rápidamente. En ese momento, la compañía no confirmó que hubiera escrito el artículo, ni hizo comentario alguno al respecto.

Aunque el cálculo que eligió Google —verificar la salida de un generador cuántico de números aleatorios— tiene escasas aplicaciones prácticas, «se trata de un enorme logro científico, suponiendo que se confirme, y me imagino que lo hará», asevera Scott Aaronson, informático teórico de la Universidad de Texas en Austin.

Algunos investigadores ajenos a Google ya están tratando de mejorar los algoritmos clásicos empleados para abordar el problema, con la esperanza de reducir esos 10.000 años que ha estimado la compañía. IBM, rival de Google en la construcción de ordenadores cuánticos, notificó el 21 de octubre (mediante un artículo disponible en el repositorio [arXiv](#) y que no se ha sometido aún a un proceso de revisión por pares) que el problema podía resolverse en tan solo dos días y medio empleando una técnica clásica diferente.

Si IBM está en lo cierto, eso reduciría la hazaña de Google a haber demostrado una «ventaja» cuántica: realizar un cálculo mucho más rápido que un ordenador clásico, pero no uno que esté fuera de su alcance. Aun así, seguiría siendo un hito importante, valora Simmons. «Hasta donde yo sé, es la primera vez que alguien lo demuestra, así que no hay duda de que es un gran resultado.»

### Soluciones rápidas

Los ordenadores cuánticos funcionan de un modo esencialmente diferente a las máquinas clásicas: un bit clásico es un 1 o un 0, pero un bit cuántico, o qubit, puede existir en una superposición de esos dos estados. Cuando los qubits están conectados de manera inextricable (mediante lo que se conoce como [entrelazamiento cuántico](#)), los físicos pueden, en teoría,

explotar la interferencia entre sus estados cuánticos para realizar cálculos que de otro modo podrían llevar millones de años.

Los físicos piensan que los ordenadores cuánticos podrían llegar a ejecutar algoritmos revolucionarios capaces de, por ejemplo, escudriñar bases de datos poco manejables o factorizar números enormes, incluidos [los que se utilizan en criptografía](#). Pero aún faltan décadas para esas aplicaciones. Cuantos más qubits estén conectados, más difícil es conservar sus frágiles estados mientras funciona el dispositivo. El algoritmo de Google se ejecuta en un procesador cuántico compuesto por 54 qubits, cada uno de ellos formado por circuitos superconductores. Pero eso solo representa una pequeña fracción del millón de qubits que podría requerir una máquina de uso general.

La tarea que Google eligió para su ordenador cuántico es «un tanto extraña», afirma Christopher Monroe, físico de la Universidad de Maryland en College Park. Los físicos de Google diseñaron el problema en 2016, con la idea de que fuese extremadamente difícil de resolver para un ordenador común. El equipo desafió a su ordenador, conocido como Sycamore, a describir la probabilidad de los distintos resultados de un generador cuántico de números aleatorios.

Para hacerlo, implementaron un circuito que somete a 53 qubits a una serie de operaciones aleatorias. Eso genera una cadena de 53 dígitos (unos y ceros), con un total de  $2^{53}$  combinaciones posibles (solo se usaron 53 qubits porque uno de los 54 de Sycamore estaba estropeado). El proceso es tan complejo que es imposible calcular el resultado a partir de primeros principios, así que es aleatorio a todos los efectos. Pero debido a la interferencia entre los qubits, algunas combinaciones son más probables que otras. Esto es parecido a lanzar un dado cargado: sigue produciendo un número aleatorio, pero hay números que tienen una mayor probabilidad de aparecer.

Sycamore calculó la distribución de probabilidad muestreando la salida del circuito: haciéndolo funcionar un millón de veces y determinando las cadenas de números resultantes. Este método es similar a lanzar el dado para revelar su sesgo. En cierto sentido, apunta Monroe, lo que hace la máquina es algo que los científicos realizan constantemente: usar un experimento para encontrar la respuesta a un problema cuántico imposible de calcular de manera clásica. La diferencia funda-

mental, precisa, es que el ordenador de Google no tiene una única finalidad, sino que es programable y podría aplicarse a cualquier tipo de circuito cuántico.

Verificar la solución constituyó otro desafío. Para conseguirlo, el equipo comparó los resultados con los de simulaciones de versiones más pequeñas y simples de los circuitos, las cuales se realizaron en ordenadores clásicos, como el superordenador Summit del Laboratorio Nacional de Oak Ridge, en Tennessee. Extrapolando a partir de estos ejemplos, el equipo de Google estima que un ordenador con un millón de unidades de procesamiento (equivalente a unos 100.000 ordenadores de sobremesa) tardaría unos 10.000 años en simular el circuito completo. Sycamore solo tardó 3 minutos y 20 segundos.

Google considera que su prueba de la supremacía cuántica es irrefutable. Incluso si otros investigadores reducen el tiempo que se tardaría en realizar la simulación clásica, los ordenadores cuánticos no dejan de mejorar. Eso significa que, en este problema concreto, es poco probable que las máquinas convencionales los alcancen nunca, explica Hartmut Neven, que lidera el equipo de computación cuántica de Google.

### Aplicaciones limitadas

Monroe considera que el logro de Google podría ser beneficioso para la computación cuántica, ya que podría atraer a más científicos e ingenieros informáticos a este campo. Pero también advierte de que esta noticia podría crear la falsa impresión de que los ordenadores cuánticos están más cerca de las aplicaciones prácticas del día a día de lo que realmente están. «Lo que piensa la gente es “finalmente han superado a los ordenadores normales, así que ya está, en dos años tendremos uno en casa”», razona.


En realidad, añade Monroe, los científicos aún no han demostrado que un ordenador cuántico programable pueda resolver una tarea útil que no pueda acometerse de ninguna otra manera, como calcular la estructura electrónica de una determinada molécula, un problema complicadísimo que requiere modelizar múltiples interacciones cuánticas.

Otro paso importante, apunta Aaronson, sería demostrar la supremacía cuántica en un algoritmo que incluya un proceso conocido como corrección de errores, un método para corregir los errores inducidos por el ruido que de otro modo invalidarían un cálculo. Los físicos piensan que esto será esencial para que

los ordenadores cuánticos funcionen a gran escala.

Google está trabajando para alcanzar estos dos hitos, subraya Martinis, y revelará los resultados de sus experimentos en los próximos meses.

Aaronson piensa que el experimento que Google ideó para demostrar la supremacía cuántica podría tener aplicaciones prácticas: el investigador ha creado un protocolo que emplea dicho cálculo para demostrar a un usuario que los bits generados por un generador cuántico de números aleatorios son realmente aleatorios. Esto podría ser útil, por ejemplo, para la criptografía y algunas criptomonedas, cuya seguridad se basa en claves aleatorias.

Los ingenieros de Google tuvieron que llevar a cabo una serie de mejoras en sus componentes para ejecutar el algoritmo, como construir nuevos dispositivos electrónicos para controlar el circuito cuántico y concebir una nueva forma de conectar los qubits, agrega Martinis. «Realmente, esta es la base sobre la que vamos a ir aumentando la escala. Creemos que esta arquitectura básica constituye el camino a seguir», concluye. 

Artículo traducido y adaptado por *Investigación y Ciencia* con permiso de Nature Research Group.

Con la colaboración de 

#### LA AUTORA

Elizabeth Gibney es periodista de la revista Nature.

#### PARA SABER MÁS

[Quantum supremacy using a programmable superconducting processor](#). Frank Arute et al. en *Nature*, vol. 574, págs. 505-510, 23 de octubre de 2019.

[Leveraging secondary storage to simulate deep 54-qubit Sycamore circuits](#). Edwin Pednault et al. en arXiv:1910.09534 [quant-ph], 21 de octubre de 2019.

#### EN NUESTRO ARCHIVO

[¿Más cerca de los ordenadores cuánticos?](#)

Charles Q. Choi en *lyC*, enero de 2018.

[La privacidad en la era cuántica](#). Tim Folger en *lyC*, julio de 2016.

# Un ordenador cuántico basado en fotones logra un nuevo récord

Los investigadores consiguen dar un paso importante hacia la supremacía cuántica gracias a este sistema, diseñado para realizar una única tarea

DANIEL GARISTO

Un método de computación cuántica que emplea partículas de luz (fotones) ha servido para dar un paso prometedor en la carrera por crear un ordenador cuántico que supere a los clásicos. Jian-Wei Pan y Chao-Yang Lu, investigadores de la Universidad de Ciencia y Tecnología de China, y sus colaboradores han perfeccionado una técnica conocida como «muestreo de bosones» y con la que han logrado detectar una cifra récord de 14 fotones, cuando los experimentos anteriores solo habían llegado a 5.

Aunque el aumento en el número de partículas sea modesto, supone multiplicar por 6500 millones el tamaño del «espacio de estados»: la cantidad de formas en que puede configurarse un sistema computacional. Cuanto mayor es el espacio de estados, menos probable es que un ordenador clásico sea capaz de realizar el mismo cálculo.

El resultado se ha presentado en un artículo publicado en el repositorio [arXiv](#) y que aún no ha sido sometido al proceso

de revisión por pares. Pero si se confirma, sería un hito importante en la carrera por la [supremacía cuántica](#), una meta difusa que se alcanzará cuando los ordenadores cuánticos consigan llevar a cabo una tarea que esté fuera del alcance de cualquier ordenador clásico.

## La máquina de Galton

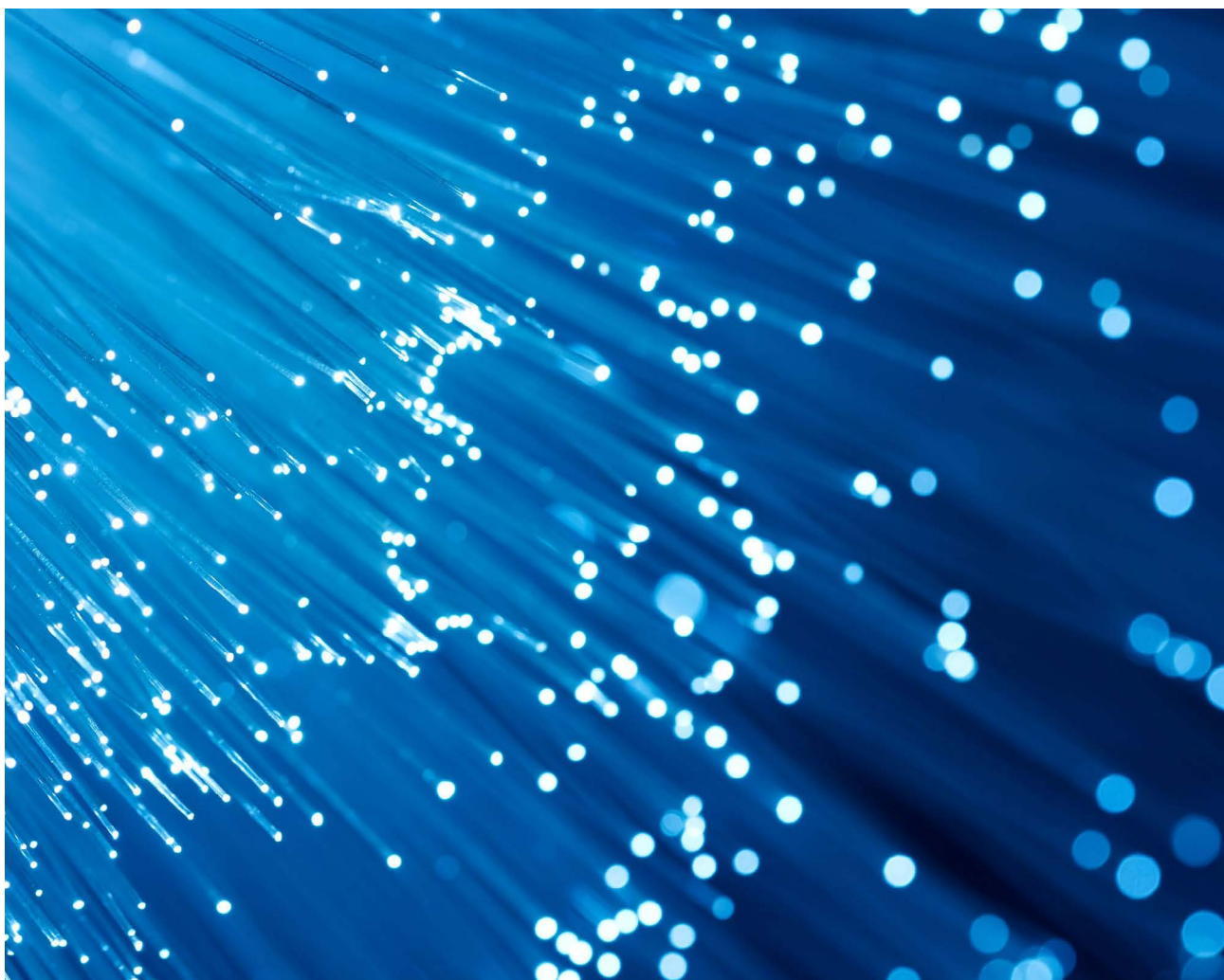
En los ordenadores clásicos, la información se codifica en bits binarios, por lo que dos bits pueden tomar los valores 00, 01, 10 o 11. Pero un ordenador cuántico puede estar en una superposición de todos los estados clásicos: dos qubits tienen una cierta probabilidad de ser 00, 01, 10 y 11 hasta que los midamos; tres qubits tienen una cierta probabilidad de estar en cualquiera de ocho estados, y así sucesivamente. Este aumento exponencial en la cantidad de información ilustra por qué los ordenadores cuánticos, en teoría, tienen tanta ventaja.

En las últimas semanas, [la carrera por la supremacía cuántica ha tomado un rit-](#)

[mo vertiginoso](#). El ordenador cuántico de Google realizó en tan solo 200 segundos un cálculo que, de acuerdo con los científicos de la compañía, le llevaría unos 10.000 años a un ordenador clásico. Los investigadores de IBM, que también están trabajando en el desarrollo de un ordenador cuántico, han expresado sus dudas, sugiriendo que un ordenador clásico podría resolver ese problema en menos de tres días.

Pan y Lu defienden en su artículo que su técnica constituye otra posible ruta hacia la supremacía cuántica. «No estoy seguro, parece difícil», manifiesta Scott Aaronson, teórico de la computación de la Universidad de Texas en Austin que no participó en la nueva investigación. «Pero como coinventor del método de muestreo de bosones, me alegra ver que también se producen avances en esa dirección.»

El muestreo de bosones puede verse como una versión cuántica de un dispositivo clásico: la máquina de Galton. Esta consta de un tablero vertical con varias



EL ORDENADOR CUÁNTICO con el que se ha conseguido el avance no se basa en qubits superconductores, como los de Google o IBM, sino en fotones. Aunque su utilidad es limitada (sirve para una única tarea) este tipo de sistema podría servir para demostrar la supremacía cuántica.

filas de clavijas sobre las que se dejan caer bolas, las cuales van rebotando en las clavijas hasta aterrizar en una serie de compartimentos dispuestos en la parte inferior.

El movimiento aleatorio de las bolas habitualmente conduce a una distribución normal en los compartimentos: la mayoría de ellas caen cerca del centro y su número va disminuyendo a medida que nos acercamos a los bordes. Los ordenadores clásicos pueden predecir fácilmente este resultado mediante simulaciones del movimiento aleatorio.

En el muestreo de bosones, en vez de bolas tenemos fotones y en vez de clavijas, instrumentos ópticos como espejos y prismas. Los fotones se lanzan a través del conjunto y aterrizan en un «compartimento» situado al final, donde una serie de detectores registran su presencia. Debido a las propiedades cuánticas de los fotones, un dispositivo con tan solo 50 o

60 fotones podría producir tantas distribuciones diferentes que los ordenadores clásicos tardarían miles de millones de años en calcularlas.

Pero con el muestreo de bosones podemos predecir los resultados realizando la tarea en sí misma. De esta manera, la técnica constituye tanto el problema computacional como el ordenador cuántico que puede resolverlo.

Aaronson y su estudiante Alex Arkhipov propusieron el muestreo de bosones en 2010, pero la técnica no es tan popular como otros métodos de computación cuántica que usan qubits físicos, como los preferidos por Google e IBM.

Parte del problema es su utilidad limitada. «Un ordenador universal puede resolver cualquier tipo de problema», incide Jonathan Dowling, físico teórico de la Universidad Estatal de Luisiana que no participó en la investigación. «Este solo puede resolver uno.» Pero solucionar un

único problema significativamente más rápido que un ordenador clásico contaría como una demostración de la supremacía cuántica.

### **Una carrera de caballos**

Sin embargo, describir el experimento es más fácil que llevarlo a cabo. Lu compartió en [Twitter](#) una imagen de la configuración experimental de su equipo, un tablero de una mesa cubierto con un denso e intrincado patrón de dispositivos metálicos brillantes.

La verdadera dificultad es la sincronización: el equipo necesitaba producir fotones individuales por separado y de manera simultánea. «Los fotones no van a esperarse unos a otros, así que es necesario generarlos todos al mismo tiempo», apunta Alexandra Moylett, que estudia un doctorado en computación cuántica en la Universidad de Bristol, Inglaterra, y tampoco participó en el trabajo.



**LA MÁQUINA DE GALTON.**  
El movimiento aleatorio de las bolas al caer entre las clavijas conduce a una distribución normal en la parte inferior.

Si los fotones llegan separados por tan solo unas billonésimas de segundo, «se pierden». Cada fotón del sistema aumenta la probabilidad de que haya fotones desincronizados, porque los errores se acumulan. Y cuantos más fotones se pierden, más fácil le resulta a un ordenador clásico simular la distribución de fotones y más lejos estamos de la supremacía cuántica.

Según Lu, si su equipo ha podido alcanzar la cifra de 14 fotones detectados es gracias a una fuente de fotones extremadamente precisa. «Ese es el ingrediente mágico», confirma Dowling. «Sin ella no habrían podido hacerlo.»

Aunque los investigadores solo detectaron 14 de los 20 fotones que introdujeron en el sistema, ese número fue suficiente para generar un espacio de estados difícil de calcular. Para entender por qué, consideremos el sencillo juego

del tres en raya, donde el tamaño del espacio de estados es 19.683, o 39, ya que en cada una de las nueve casillas hay tres posibilidades (un espacio en blanco, una X o una O).

Hasta ahora, el mejor estudio de muestreo de bosones había conseguido un espacio de estados de tamaño 15.504, que el experimento de Pan y Lu aumentó hasta unos 100 billones. En una entrada de Twitter, Lu afirmó que en un año su equipo incrementaría el número de fotones a entre 30 y 50.

No está claro que el muestreo de bosones pueda implementarse a una escala suficiente como para alcanzar la supremacía cuántica. En el pasado ya se han producido muchas afirmaciones cuestionables, algunas con negocios multimillonarios en torno a ellas. «La supremacía cuántica es como una carrera de caballos en la que no sabes cómo de rápido es tu caballo, no

sabes cómo de rápidos son los caballos de los demás, y algunos de los caballos son cabras», concluye Dowling. Pero este resultado, aclara, no es una cabra. 🐐

#### EL AUTOR

**Daniel Garisto** es periodista científico y colaborador de *Scientific American*. Licenciado en física, escribe principalmente sobre física de partículas.

#### PARA SABER MÁS

[Boson sampling with 20 input photons in 60-mode interferometers at 1014 state spaces](#), Hui Wang et al. en arXiv:1910.09930 [quant-ph], 22 de octubre de 2019.

#### EN NUESTRO ARCHIVO

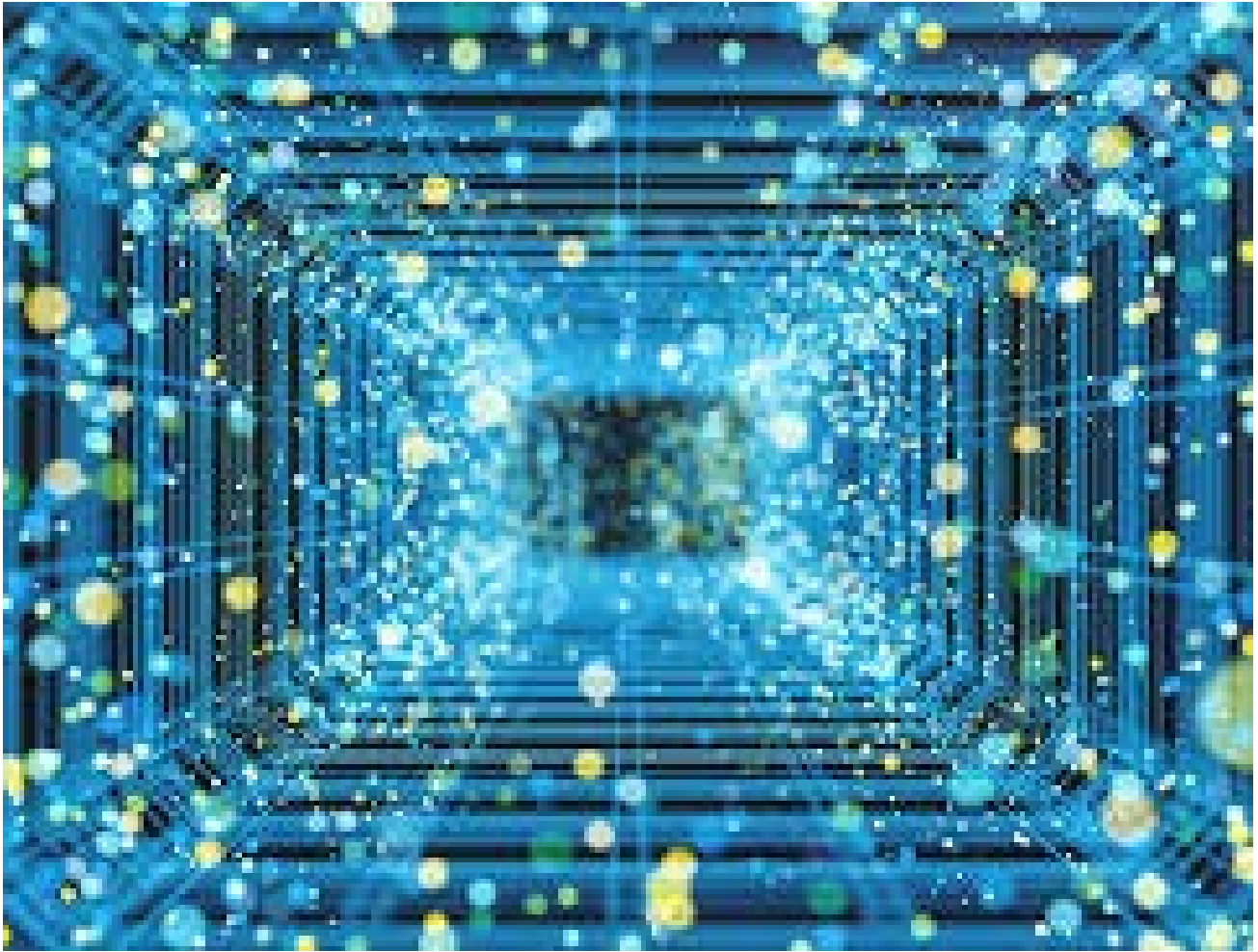
[Simular la dinámica molecular mediante fotones](#), Fabien Gatti en *lyC*, febrero de 2019.



# El ordenador cuántico de Google logra un hito en química

Una versión reducida del chip Sycamore ha llevado a cabo una simulación sin precedentes de una reacción química

NEIL SAVAGE



**E**l pasado otoño, cuando los investigadores de Google anunciaron que habían alcanzado la «supremacía cuántica» (el punto en que un ordenador cuántico puede resolver una tarea que está fuera del alcance de los dispositivos clásicos), algunos expertos minimizaron su logro. El programa, que verificaba la salida de un generador de números aleatorios, tenía escaso valor práctico y no demostraba que la máquina de la compañía pudiera hacer algo útil, objetaron los críticos.

Pero el ordenador cuántico de Google acaba de lograr algo que sí podría encontrar aplicaciones en el mundo real: simular con éxito una reacción química sencilla. La hazaña señala un nuevo camino para la química cuántica, que podría ayudarnos a comprender mejor las reacciones moleculares y conducir a descubrimientos valiosos, como baterías más eficientes, nuevos métodos para producir fertilizantes y mejores técnicas para retirar el dióxido de carbono del aire.

El experimento de supremacía cuántica del pasado año se realizó con un chip denominado Sycamore, que constaba de 53 bits cuánticos superconductores, o qubits. Al enfriarlos a temperaturas cercanas al cero absoluto, los qubits adquieren propiedades cuánticas; gracias a eso, los científicos pueden manipularlos de formas más complejas y útiles que las que permiten los sencillos flujos de corriente eléctrica que definen los estados «apagado» y «encendido» de un bit tradicional. La esperanza es que los procesa-

dores cuánticos lleguen a ser tan potentes como para resolver con rapidez cálculos que a un ordenador clásico le llevarían un tiempo mayor que la vida del universo.

Este experimento de química cuántica, descrito el 28 de agosto en revista *Science*, se basó en el mismo diseño del chip Sycamore, aunque solo se emplearon 12 qubits. Su consecución pone de manifiesto la versatilidad del sistema, apunta Ryan Babbush, investigador responsable del desarrollo de algoritmos para el proyecto de Google. «Muestra que este dispositivo es un ordenador cuántico digital completamente programable, que podemos usar para cualquier tarea que se nos ocurra.»

En primer lugar, el equipo simuló una versión simplificada del estado de energía de una molécula formada por 12 átomos de hidrógeno, con cada uno de los 12 cúbits representando un electrón. A continuación, modelizaron una reacción química en una molécula compuesta por átomos de hidrógeno y nitrógeno, incluidos los cambios en la estructura electrónica de la molécula cuando los átomos de hidrógeno pasan de un lado a otro. Como la energía de los electrones dicta la velocidad a la que procede una reacción para una determinada temperatura y concentración de las distintas especies, este tipo de simulaciones podrían ayudar a los químicos a comprender mejor el mecanismo de la reacción y cómo depende de la temperatura o del cóctel químico.

La simulación que llevaron a cabo los investigadores, conocida como procedimiento de Hartree-Fock, también puede implementarse en un procesador tradicional, de modo que, por sí sola, no demuestra la supremacía cuántica. Además, la ejecutaron con la ayuda de un ordenador clásico, que empleó aprendizaje automático para evaluar cada cálculo y refinar las siguientes iteraciones de la simulación cuántica. No obstante, este logro sirve para validar los métodos del proyecto, que resultarán esenciales en futuras simulaciones de química cuántica, según Nicholas Rubin, investigador del equipo de computación cuántica de Google. Y fue el doble de complejo que el mayor cálculo químico efectuado hasta la fecha en un ordenador cuántico.

En 2017, IBM llevó a cabo una simulación de química cuántica empleando seis qubits. Rubin asegura que el resultado describía un sistema molecular con un nivel de complejidad que podrían haber calculado a mano los científicos de la

década de 1920. Al duplicar el número de qubits, el proyecto de Google abordó un sistema que podría haberse caracterizado con un ordenador de los años cuarenta. «Si lo duplicamos de nuevo, tal vez nos pongamos en 1980», explica Babbush. «Y si lo duplicamos una vez más, seguramente iremos más allá de lo que puede ser hecho clásicamente hoy en día.»

Hasta ahora, ningún ordenador cuántico ha conseguido algo que no esté al alcance de uno clásico, subraya Xiao Yuan, investigador posdoctoral en el Instituto de Física Teórica de la Universidad Stanford, que escribió un comentario que acompaña al artículo de Google en *Science*. Los investigadores de IBM llegaron incluso a cuestionar que Google hubiera alcanzado la supremacía cuántica en 2019 y mostraron una manera de obtener los mismos resultados con un superordenador en dos días y medio, si bien la versión de Google había tardado poco más de tres minutos. Sin embargo, Yuan considera que el nuevo experimento de química cuántica supone un gran paso hacia un objetivo importante. «La noticia más emocionante sería que pudiéramos usar un ordenador cuántico para resolver un problema difícil y relevante desde el punto de vista clásico», añade.


Y no existe ningún motivo teórico que nos impida conseguirlo, prosigue Yuan, pero el desafío técnico que supone el pasar de unos pocos qubits a varios cientos de ellos (o incluso muchos más, con el tiempo) requerirá una complicada labor de ingeniería. Un dispositivo cuántico de uso general con millones de qubits exigirá el desarrollo de protocolos de corrección de errores, un problema particularmente arduo que podríamos tardar más de una década en resolver. Entretanto, los ordenadores cuánticos de «escala intermedia ruidosa», que carecen de una corrección completa de errores, podrían resultar útiles.

La química encaja bien con la computación cuántica, ya que las reacciones químicas son intrínsecamente cuánticas, explica Alán Aspuru-Guzik, pionero de la química cuántica de la Universidad de Toronto. A fin de modelizar de manera detallada una reacción, necesitamos conocer los estados cuánticos de todos los electrones implicados. Y ¿qué mejor manera de simular un sistema cuántico que mediante otro sistema cuántico? En opinión de Aspuru-Guzik, mucho antes de que los ingenieros logren desarrollar un ordenador cuántico programable de uso

general, los dispositivos con un puñado de qubits deberían superar a los ordenadores clásicos en una serie de problemas químicos interesantes. «Así que se trata de un avance importante, pero la historia no termina aquí», vaticina.

Por ejemplo, Aspuru-Guzik busca mejores materiales para las baterías que almacenan la energía producida por turbinas eólicas y placas solares. Dichos materiales deberían poseer propiedades aparentemente contradictorias: han de ser lo bastante reactivos como para cargarse y descargarse con rapidez, pero también lo bastante estables como para no explotar ni incendiarse. Los modelos informáticos de las reacciones ayudarían a identificar los materiales óptimos para esa tarea. Y esos modelos también podrían ser importantes en la búsqueda de nuevos fármacos.

Aun así, puede que los ordenadores cuánticos no sean la única manera revolucionaria de modelizar reacciones químicas, comenta Aspuru-Guzik. La inteligencia artificial podría dar lugar a algoritmos eficientes que permitan ejecutar simulaciones útiles en ordenadores clásicos. Para curarse en salud, su laboratorio trabaja en ambas posibilidades: desarrolla nuevos algoritmos para procesadores cuánticos de escala intermedia y crea robots gobernados por IA para descubrir nuevos tipos de materiales.

La gesta de Google hace que Aspuru-Guzik sea optimista respecto a la posibilidad de que la computación cuántica resuelva problemas interesantes en un futuro no muy lejano. «Esto es lo máximo que puede conseguir un ordenador cuántico ahora mismo», concluye. «Aún queda mucho por hacer, en cuanto a componentes y a programas, para llegar a ese punto.» 

#### EL AUTOR

Neil Savage es periodista científico.

#### PARA SABER MÁS

Hartree-Fock on a superconducting qubit quantum computer. Google AI Quantum y colaboradores en *Science*, vol. 369, págs. 1084-1089, 28 de agosto de 2020.

#### EN NUESTRO ARCHIVO

Mundos cuánticos simulados. Oliver Morsch e Immanuel Bloch en *lYc*, mayo de 2015.