

QUANTUM COMPUTING IS EXCITING AND IMPORTANT—REALLY!

By Charles Day



QUANTUM COMPUTING, SAY ITS CHAMPIONS, PROMISES PRODIGIOUS POWER. ITS BASIC CURRENCY, THE QUBIT, EXISTS IN AN ON/OFF LIMBO UNTIL IT'S READ OUT, SO IF YOU COULD OPERATE ON K QUBITS, A POTENTIALLY VAST SPACE OF 2^K VALUES OPENS UP FOR COMPUTATION. THE FUNDAMENTAL

operation on qubits is a rotation. Combine the rotations, and you have logic gates. Combine the logic gates, and you have algorithms. In principle, these algorithms can perform calculations far beyond classical computing's conceivable reach.

But to wield that power, you need an actual quantum computer, and building one has proved impossible. Qubits live in small, cold enclaves within the classical macroworld. When heat and other environmental disturbances inevitably intrude, they rob a quantum system of its coherence, its entanglement, and its ability to compute.

So beguiling is the potential of quantum computers that rather than putting people off, the difficulty of building one has assumed the qualities of a mythical quest. Like Jason's for the Golden Fleece, the quest for a quantum computer is hard and long. To sustain it, the champions of quantum computing appeal not to Olympian gods but to terrestrial funding agencies. Not surprisingly, quantum computing has acquired an aura of hope—and hype. Researchers have made steady progress, though. Physicists have fashioned qubits from superconducting Josephson junctions, trapped ions, semiconducting quantum dots, and other systems. They've even built working logic gates.

Still, scaling up a handful of logic gates, whose physical embodiments could require a roomful of lasers, cryopumps, and other finicky equipment, to an actual computer remains out of reach. Rolf Landauer, the IBM physicist who pioneered the notion that information is intrinsically physical, was famously skeptical of quantum computing. All papers on the topic, he said, should come with a disclaimer, and if you didn't have one, he was happy to offer his own:

This proposal, like all proposals for quantum computation, relies on speculative technology, does not in current form take into account all possible sources of noise, unreliability and manufacturing error, and probably will not work.

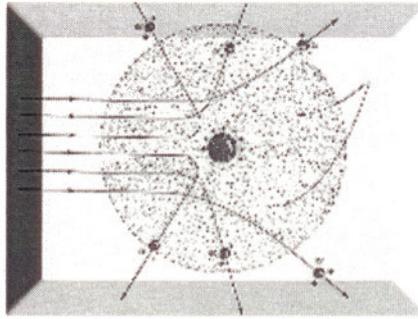
Landauer's skepticism could prove justified in the end, but it would be a pity if research in quantum computing stopped now. Much of it continues to be worthwhile. At the National Institute of Standards and Technology's lab in Boulder, Colorado, for example, David Wineland and his collaborators have applied the techniques they developed for atomic clocks to build logic gates based on trapped ions. Thanks to their work on logic gates, they developed new, entanglement-based clocks of unprecedented precision.

In making qubits out of gallium arsenide quantum dots, Jason Petta, who is now at Princeton University, and his collaborators at Harvard measured the tiny fluctuating magnetic field of 10^6 gallium and arsenic nuclei inside a quantum dot—a remarkable feat.

Results have been just as impressive on the theoretical front. The work of Microsoft's Alexei Kitaev and others on topological quantum computation has spawned rich and fruitful explorations of the mathematical similarities of field theory, knots, and the fractional quantum Hall effect. Princeton's Robert Calderbank has applied the theory of quantum error correction to understand radar polarimetry, and Ignacio Cirac and Frank Verstraete of the Max Planck Institute for Quantum Optics outside Munich have used the entangled states that crop up in quantum information theory to analyze networks of coupled spins.

Do all these advances, and others, represent milestones on a longer, ultimately successful journey or the ends of truncated trips? I don't know. But they're exciting and important—really.

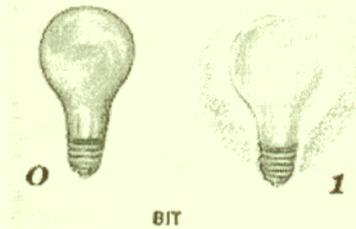
Charles Day runs *Physics Today's* Search & Discovery department. His birthday is in October.



COMPUTACIÓN CUÁNTICA (Conclusión),

En este último artículo sobre la computación cuántica haremos una breve recapitulación sobre sus fundamentos; también revisaremos el estado actual de su desarrollo.

1.- ¿Cómo podríamos resumir los efectos cuánticos aplicados a la computación?.



Una computadora cuántica hace uso del cómputo en paralelo mediante el empleo de bits cuánticos (qubits). Ya vimos que una partícula subatómica puede estar en varios niveles energéticos a la vez; en este sentido, puede representar al mismo tiempo los dos valores posibles de un bit (0 "cero" o 1 "uno"). Es como si el qubit existiera en dos universos paralelos: en uno como "cero" y en el otro como "uno".

Una misma operación efectuada sobre un qubit se realizaría en forma **simultánea** en ambos universos (sobre ambos valores). Mientras mayor sea el número de qubits utilizados, el número de universos posibles también aumenta ($\# \text{ universos} = 2^L$, donde 2^L significa elevar 2 a la potencia L, y L es el número de qubits).

Una vez efectuada una operación sobre los diferentes valores, es necesario leer el resultado lo cual representa una interacción que necesariamente modificará el estado de nuestro sistema de qubits y lo obligará a tomar un valor definido (recuérdese el principio de incertidumbre de Heisenberg comentado en el primer artículo).

Ciertamente nuestro resultado estará representado por un solo valor (un estado de nuestro sistema de qubits); pero este resultado se desprende de una operación efectuada sobre 2^L valores y por tanto depende lógicamente de ellos.

2.- ¿Entonces el computador cuántico hará mejor las cosas que las computadoras actuales?



No necesariamente. Por ejemplo, las computadoras actuales son muy buenas para multiplicar grandes números; el computador cuántico no lo hará mucho mejor. Sin embargo aquellas operaciones que requieran de operaciones repetitivas, pueden hacer uso del cómputo en paralelo:

La factorización de grandes números : Una computadora actual se estima que tardaría varios miles de millones de años para factorizar un número de 1000 dígitos, mientras que un computador cuántico lo haría en ¡20 minutos!.

La búsqueda en bases de datos : Las búsquedas en bases de datos no ordenadas se realizan actualmente al azar (ningún algoritmo es más eficiente) y para localizar un dato en especial se requiere en promedio de $N/2$ intentos, donde N es el número total de datos. Un computador cuántico podría realizar lo anterior en un número de intentos igual a la raíz cuadrada de N . Así por ejemplo si N es igual a un millón, una computadora actual tendría que intentar 500,000 veces, mientras que el computador cuántico lo haría sólo 1,000 veces.

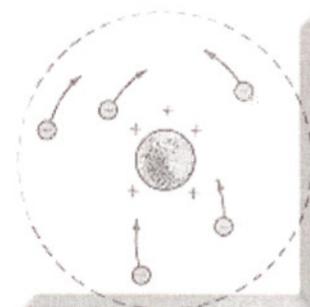
3.- ¿Que tan cerca estamos de contar con un computador así.?

Se han hechos grandes progresos, sin embargo aún existen grandes dificultades técnicas. Así por ejemplo, la superposición cuántica (la capacidad de un qubit de existir en dos universos paralelos) es difícil de obtener y mantener ya que cualquier interacción con el exterior obligará al qubit a adoptar un valor definido (fenómeno conocido como "decoherencia").

Por otro lado, el qubit no puede ser construido a partir del transistor ya que este es un elemento que sólo funciona en las computadoras actuales; más bien se deben utilizar partículas o sistemas de partículas que manifiesten el fenómeno de la interferencia cuántica.

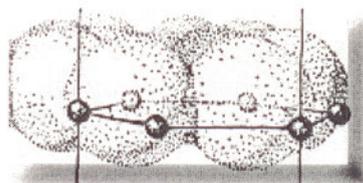
En este sentido, se han hecho diversos experimentos:

Puntos Cuánticos (quantum dots) : Consiste básicamente en un electrón atrapado dentro de un conjunto de átomos (jaula de átomos), el cual, mediante un rayo láser de una frecuencia específica, se traslada de su estado no excitado ("cero") a su estado excitado ("uno") y viceversa. Si la duración de la exposición al láser es igual a la mitad del tiempo requerido para cambiar el nivel energético del electrón, este adquiere un estado de superposición de sus dos valores posibles.

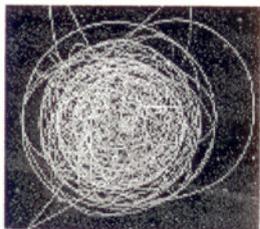


Moléculas Líquidas: En esta técnica se utilizan grupos de moléculas, en lugar de una partícula elemental. Al ser sometidos a un campo magnético, los núcleos de las moléculas giran en una determinada dirección que puede ser utilizada para describir su estado (giro hacia

arriba = "uno", giro hacia abajo = "cero"). Mediante señales de radiofrecuencia, el giro puede modificarse.



En este sentido, el computador cuántico vendría a estar representado por las moléculas, y los qubits por los núcleos. **¡Se piensa que la molécula de la cafeína sería un buen computador!**



Átomos de Cesio: Recientemente (Marzo del 2000), se han hecho pruebas en las que en lugar de utilizar varios qubits, se utiliza un solo átomo capaz de adoptar varios estados de energía para guardar y recuperar información. También se utilizan aquí pulsos de láser para obtener la superposición.

En abril del 2000 se ha propuesto un computador cuántico escalable que podría contener más de 10 qubits, utilizando iones (átomos con carga eléctrica).

4.- Conclusión

Conforme la miniaturización de los componentes de la computadora continúe, llegará el momento en que los fenómenos que estudia la física cuántica tengan que ser tomados en cuenta en la construcción de nuevas computadoras. En este sentido, la miniaturización en base a los componentes actuales tiene un límite definido por la aparición de estos fenómenos.

Una alternativa para este problema es el aprovechamiento de la interferencia cuántica para construir un nuevo tipo de computadora: el computador cuántico, que haga uso de nuevos algoritmos y nuevos tipos de "hardware". El trabajo teórico permite suponer que es posible construir este tipo de computador, y de hecho ya se han inventado los primeros algoritmos.

Sin embargo, aunque se han hecho experimentos alentadores utilizando electrones y moléculas; el fenómeno de la "decoherencia" no ha podido ser resuelto satisfactoriamente por lo que la realización práctica de la nueva computadora resulta aún un tanto incierta, aunque algunos científicos piensan que antes de 10 años se podrá contar con el primer procesador cuántico.

Para mayor información sobre este tema, le sugerimos visitar <http://www.qubit.org/index.html>.

[Artículos anteriores](#)

Física, Filosofía y Tecnología Cuántica*

DAVID DEUTSCH

La teoría cuántica y la teoría clásica de la computación se perfeccionaron en los años treinta del siglo xx, y cincuenta años más tarde fueron unificadas para formar la teoría cuántica de la computación. Quisiera mencionar aquí una especulación —no puedo llamarla sino una “especulación”, aun cuando sé que se trata de una verdad— sobre el tipo de teoría que puede, en otros cincuenta años, reemplazar o superar la teoría cuántica de la computación.

Hay ramas de la ciencia —en realidad muchas de ellas son ramas de la física— de las que esperamos que, por su naturaleza, tengan implicaciones filosóficas. Un ejemplo obvio es la cosmología. Existen otras ciencias, tales como, digamos, la aerodinámica, de la que, no importa qué tan asombrosos o importantes puedan ser nuestros descubrimientos, no esperamos implicaciones filosóficas fundamentales. De esta manera varias ciencias ocupan diferentes lugares en una escala (Fig. 1) que va de la más fundamental de las ciencias, a la izquierda, hasta la menos fundamental, la más derivada, a la derecha.



Figura 1. Colocando las ciencias en una escala de fundamental a derivada.

Lo mismo vale para las matemáticas. Hay ramas de las matemáticas, tales como la lógica, de las que esperamos que por su naturaleza sean relevantes para efectos filosóficos. Así como hay otras ramas, por ejemplo el análisis de Fourier, que aunque puedan ser muy útiles tanto para la matemática misma como para aplicaciones prácticas, no se puede esperar de ellas que sean de interés filosófico. El eje vertical de la Fig. 2 (a) mide qué tan matemático es un campo. A la mitad está la línea de demarcación entre la ciencia (que tiene un contenido empírico) y las matemáticas (que son puramente abstractas).

Ahora, ¿en dónde se sitúa la teoría de la computación en ese diagrama? Tradicionalmente la respuesta tendría que ser que es una rama de las matemáticas, pero no una fundamental: Kronecker dijo que Dios hizo los números enteros y todo el

resto es obra del hombre; formulaciones más modernas han puesto la teoría en un lugar de mayor orgullo. Así que la teoría de la computación pudo haberse colocado cerca de la posición 1 en la Fig. 2 (b). Pero en el siglo xx, Gödel y Turing arguyeron que la teoría de la computación debería ser isomórfica para probar la teoría que (era frecuentemente asumida) está en los fundamentos de las matemáticas. Tales estimaciones la pondrían muy lejos, en la posición 2.

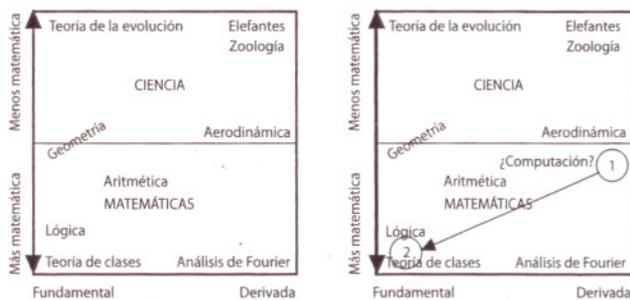


Figura 2. Panel de la izquierda: (a) evaluando las ramas de las matemáticas. Panel de la derecha: (b) situando la computación en el diagrama

Y ¿qué hay acerca de las teorías de la información y la comunicación? Ambas fueron estudiadas dentro del campo de la física, y tendrían que estar colocadas a la derecha, en el lado derivado del diagrama, ya que todos nuestros resultados en esos campos son obtenidos empleando teorías fundamentales como el principio de superposición y la electrodinámica cuántica, y extrayendo conclusiones de ellas. Nosotros no añadimos leyes nuevas.

Así que consideramos nuestro conocimiento del mundo físico como estructurado en la forma de la Fig. 3 (a): tenemos leyes que se aplican absolutamente a todo, y las aplicamos a casos especiales. Está la cosmología, y una de sus ramas podría ser la física de las galaxias. Dentro de ella, estaría la física de los sistemas solares, y dentro de ésta, los planetas. En los planetas tenemos computadoras cuánticas, elefantes y otras cosas. Alternativamente, podemos pensar en la física de las partículas elementales que describe el comportamiento de todas las partículas en su total generalidad; la física del estado sólido es un caso especial, y también lo son los elefantes, los humanos y las computadoras cuánticas. De cualquier modo, la teoría de las computadoras, incluso las computadoras cuánticas, podrían

* David Deutsch, Oxford University, Oxford, United Kingdom
e-mail: david.deutsch@qubit.org

parecer como un sub-campo altamente especializado de un sub-campo de la física fundamental. Después de todo es muy difícil hacer computadoras cuánticas. Hasta donde sabemos no existe ninguna hasta ahora. Y en cualquier caso, parece que cuando estamos estudiando computadoras cuánticas, estamos estudiando cómo la materia y la energía se comportan bajo circunstancias supuestas y nada frecuentes —algo que posiblemente podría ser importante para nosotros por razones prácticas, pero no de significación fundamental. Sin embargo sabemos que ésa es la conclusión errónea. Lo sabemos por la existencia de la universalidad computacional: las leyes de la física le permiten a una máquina —una computadora cuántica universal—, con la propiedad que es posible, movimientos correspondientes en un sentido adecuado a todos los movimientos posibles de todos los objetos físicos posibles. Por lo tanto la totalidad de la física y más —el estudio de todos los objetos físicos posibles— es isomórfico al estudio de todos los programas que pueden correr en una computadora cuántica universal.

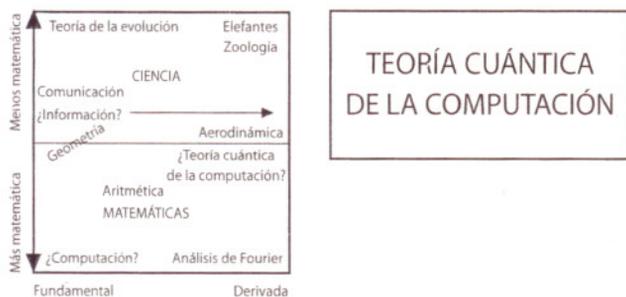


Figura. 3. Panel de la izquierda: (a) situando la información y la comunicación en el diagrama. Panel de la derecha: (b) el abarcante papel de la computación cuántica: ¿incluye toda la física?

Entonces la vista del mundo ofrecida en la Fig. 3(a) está equivocada y somos llevados a un diferente cuadro de las relaciones entre las varias ciencias, es decir la Fig. 3 (b) en la que la física es la teoría cuántica de la computación, y el estudio de los sistemas físicos particulares es el estudio de clases particulares de cómputos. Así que de nuevo las galaxias, las estrellas y los elefantes aparecerán en alguna parte en este diagrama como casos especiales, pero el estudio de las computadoras cuánticas está representado por el diagrama total. (Como Charles Bennett ha señalado —cuando presenté este ensayo en una conferencia— la teoría cuántica de la computación todavía aparece como una pequeña región también, pero esa región tiene la misma estructura que el diagrama como un todo).

Sin embargo, aun si la Fig. 3 (b) es nuestro mejor modo de concebir el carácter de una ley física, muchos de nuestros conceptos del mundo todavía incorporan algo más parecido a la obsoleta Fig. 3 (a), en la que una computadora universal es sólo otro sistema físico. La razón es en parte la inercia. También es en parte la forma en que se enseña la física cuántica: un curso que comenzara con *qubits* y redes computacionales cuánticas en lugar de la ecuación de Schrödinger y el pozo cuadrado podría no sólo estar mucho más cercano a los fundamentos físicos de la teoría sino también ser inherentemente más simple. Esto tendría el consecuente mérito de permitir que la

teoría cuántica fuera enseñada antes en el currículum enseñanza física. Pero divago. Hay también una buena para no aceptar la Fig. 3(b), el panorama intento computacional de la naturaleza, nuestro mejor panorama intento divisible, como la historia completa, no importa cual.

Se reconoce que es muy natural, cuando uno ha entendido la centralidad de la computación en física, hacer ciertas especulaciones acerca de lo que algo puede ser: tal vez el universo que vemos —o presumiblemente el multiverso— es en realidad un programa computacional corriendo en una computadora gigantesca. Ésa es una idea intrigante y una rica fuente de argumentos de ciencia-ficción, pero como idea de la física fundamentalmente imperfecta. Representa dar un paso en la comprensión de lo que la computación cuántica y la universalidad nos dicen, y esto por dos razones principales: la primera es que cualquier cosmología de ese tipo ocasiona renunciar a dar explicaciones. Porque si lo que vemos con leyes de la física son en verdad sólo atributos de algún software entonces, por la propia definición de la universalidad computacional, no tenemos entonces forma de entender el hardware en el que ese software funciona. Entonces no tenemos modo de comprender la física real que existe en la realidad. Por otra razón, porque las propiedades de este supuesto nivel de hardware nunca figurarían en ninguna de nuestras explicaciones de ninguna cosa, no tenemos ya razón para postular que tenemos que postular que hay hadas al fondo del jardín.

Ésa es una razón filosófica o metodológica. La segunda razón por la que creo que esta idea no tiene posibilidades técnicas, pero también es aniquiladora. Vemos en torno nuestro un universo computable; es decir, de todos los objetos y procesos matemáticos posibles sólo una proporción infinitesimal es siempre realizada instantáneamente en los parentescos de los objetos físicos y los procesos físicos. (Ésas son esencialmente las funciones computables). Ahora, puede parecer que un intento por explicar ese hecho asombroso sería como decir que una pequeña parte de las matemáticas, ‘matemáticas computables es que los procesos físicos en realidad son cómputos corriendo en una computadora externa en lo que creemos ser una realidad física’. Pero reposa en la suposición de que el conjunto de funciones computables —las funciones computables de Turing o el conjunto de operaciones computables cuánticas— es alguna manera inherentemente privilegiada dentro de las matemáticas. Así que incluso se esperaría de una computadora implementada en física desconocida (la supuesta computadora en la que todos somos simulaciones) que conformara esas mismas nociones de realizar cómputos, que usara esas mismas funciones que las matemáticas designan como computables. Pero en los hechos, la única cosa que privilegia el conjunto de todas las operaciones computacionales que vemos en la naturaleza es que ellas son llevadas a cabo instantáneamente por las leyes de la física. Es sólo a través de nuestro conocimiento del mundo físico que sabemos de la diferencia entre lo computable y lo no computable. Así que es sólo por medio de nuestras leyes físicas que la naturaleza de la computación puede ser conocida. Nunca podría ser *viceversa*.

Otra de esas muy naturales especulaciones es que tal vez haya sólo una de esas computadoras gigantes sino un número infinito de ellas, en todas corriendo diferentes programas. Bien, hay que olvidarse de las computadoras (el argumento

he dado nos dice que debemos hacerlo). Podemos especular que hay muchos universos en los que corren diferentes leyes de física, como, por ejemplo, en la idea del universo evolutivo de Lee Smolin, o las ideas de Seth Lloyd o Max Tegmark. Ahora no tengo objeción a la idea de que múltiples leyes de física en diferentes universos estarían implicadas en futuras explicaciones del mundo físico, pero ésta no puede ser toda la explicación. No puede ser siquiera la sustancia de la explicación—esencialmente por la misma razón de la idea de un universo como simulación: no hay noción de computación anterior a las leyes de la física, en verdad no hay noción de ningún tipo de leyes anterior a una definición de qué es o qué no es computable.



Figura 4. Panel de la izquierda: (a) la termodinámica no está totalmente incluida dentro de la teoría cuántica de la computación. Panel de la derecha: (b) Teoría del constructor cuántico.

Entonces, el propio poder del principio de la universalidad de la computación, que nos da tal visión unificada de lo que la física es, también limita el alcance de lo que en la realidad física puede ser considerado como compuesto de cómputos. A causa de la universalidad, la naturaleza de la computación y las leyes que la gobiernan son independientes del hardware fundamental. Por lo tanto esas leyes y esa teoría no pueden explicar el hardware. Explicar el hardware, no obstante, es obviamente parte de la ciencia. Por tanto debe haber algo para la física que esté más allá de la teoría cuántica de la computación. Creo que tenemos que concebir a la teoría cuántica de la computación como un caso especial de una teoría más grande: la teoría del constructor cuántico, que es la teoría de qué objetos físicos pueden ser construidos, usando qué recursos. No me refiero aquí a recursos abstractos, como el número de pasos computacionales o el aumento de memoria, sino a recursos físicos como el átomo y la energía y la entropía y así sucesivamente.

Tenemos ya algunos indicios sobre la teoría del constructor: no es muy cierto que toda la física existente pueda ser comprendida como si fuera hecha de varios aspectos de la teoría cuántica de la computación. Por ejemplo, sabemos que no es posible construir una máquina de movimiento perpetuo de la segunda clase. Tenemos una ley física que nos lo dice. No obstante, tan lejos como llega la teoría cuántica de la computación, la reversión temporal de cualquier estado físico es sólo otro estado físico. La universalidad dice que la evolución de ese estado puede ser simulado por la computadora universal con precisión arbitraria. Así la teoría cuántica de la computación no tiene los medios para acomodar el total de, digamos, los mecanismos estadísticos cuánticos dentro de ella [Fig. 4 (a)].

Otro indicador de la teoría del constructor cuántico es la teoría cuántica de la comunicación. ¿Qué es lo que hace a la comunicación diferente de la computación? Como en la termodinámica, es un hecho que tenemos que tomar en cuenta restricciones propias de la computación que son impuestas por la naturaleza real del mundo físico. Por ejemplo, podemos considerar dos computadoras separadas espacialmente, y tenemos que modelar lo que signifique para ellas “comunicar”. Tenemos que decir que ciertas operaciones físicas, que son perfectamente buenos *cómputos*, no son permitidas porque ningún hardware disponible en la naturaleza puede llevarlas a cabo, porque, por ejemplo, eso implicaría enviar información más rápido que la velocidad de la luz. La teoría cuántica de la computación no sabe nada de la distancia; un día, tal vez, la distancia será definida en la teoría del constructor cuántico, como una cierta teoría de restricciones de comunicación, tal como los átomos o las partículas elementales pueden ser definidos con ciertas restricciones en la construcción de objetos blandos. Así que tenemos algunos indicios de fragmentos de una teoría futura que dirigirá, de una forma unificada, recursos reales como energía y volumen y tiempo, más que recursos formales como memoria y pasos computacionales y número de entradas computacionales.

La teoría constructora computacional completa, incorporará la “teoría del todo” de los físicos de partículas, incluyendo la gravedad cuántica, tanto como la teoría cuántica de la computación y la termodinámica. Podemos esperar que será apta para contestar preguntas exóticas como: ¿podemos construir un hoyo negro y hacerlo girar hasta que se convierta en una máquina del tiempo? ¿Podemos hacer colapsar un hoyo negro y dar forma a nuevos universos que podamos diseñar, y si es así cuáles son las restricciones a eso? Antes que suceda algo así, podemos esperar que resuelva controversias más terrenales como: ¿Es posible construir un reactor de fusión controlada? Nótese que hasta donde llega la concepción de la física de la teoría cuántica de la computación, la respuesta podría ser sí. Construir tal artefacto es simplemente cuestión de preparar algo que se pueda observar en un estado muy nítido, y en la computación cuántica ése nunca es un problema fundamental. Pero eso es porque la teoría cuántica de la computación no captura completamente la totalidad de la física.

Otra pregunta de ese estilo es, desde luego: ¿podemos construir una computadora cuántica? Aquí, éste es un tema tópico, y en el estado actual de la ciencia, todavía es un problema controversial. No obstante tenemos que admitir que al presente, la controversia no es en verdad parte de la ciencia. Es un poco como títeres de mano arguyendo “oh, sí podemos” “oh no, no pueden”, ninguna de las partes da la apariencia de tratar con leyes físicas. A lo sumo están expresando sus intuiciones, que pueden o no contener sabiduría pero por el momento ni la física ni la ciencia están presentes en ninguna parte. Un día el tema estará incluido en la ciencia por la teoría del constructor cuántico—aunque sospecho que para entonces estará resuelto empíricamente por la construcción de las computadoras cuánticas.

Presumiblemente habrá una generalización del constructor de la computadora cuántica universal, es decir el constructor cuántico universal, una máquina que puede ser programada para construir cualquier objeto cuántico que pueda ser construido, o cualquier objeto cuántico con cualesquiera propiedades posibles de realizar.

La teoría del constructor cuántico nos dará una meta-física verdadera —no metafísica, la rama de la filosofía, sino una disciplina que está en la misma relación que la física como las metamatemáticas son para las matemáticas. Será la teoría de lo que puede ser hecho, y de lo que puede ser construido, en la realidad física. Hay algunas preguntas imponentes esperando por nosotros en esa dirección. Una de ellas es: ¿la raza humana es un constructor universal? —una pregunta con tremendas reverberaciones para cosas como la epistemología y la cosmología, y la metafísica verdadera.

Nuestro estado de conocimiento de este campo es todavía muy primitivo. No estamos de ninguna manera cerca de contestar todavía preguntas de esa naturaleza, o incluso muchas preguntas elementales de la teoría constructora. La asignatura está todavía tan en su primera infancia que incluso dentro de la propia teoría cuántica de la computación, no tenemos en verdad una buena idea de lo que es la información cuántica, o cómo debería cuantificarse lo enmarañado, y así por el estilo. Hace unos pocos años el periodista John Horgan escribió un libro, *The End of Science* [El fin de la ciencia], en el que dijo que todas las teorías fundamentales son ya conocidas y que a partir de ahora la ciencia fundamental sólo estará poniendo los puntos sobre las íes. Horgan admite que en el año 1900 la gente repetía mucho las mismas cosas: que la física en el futuro tra-

taría sobre evaluar el sexto lugar decimal y así por el estilo. Bastó una sola generación para demostrarles lo equivocado que estaban por medio de una serie de revoluciones científicas. Horgan señala con razón que el hecho de que esos sabios bieran estado embarazosamente equivocados no prueba que no esté en lo correcto. Pero creo que en 1900 había más cosas para pensar que la física estaba casi al final de su camino que hay ahora. Porque las mejores teorías de hoy continúan en el interior de sí mismas las implicaciones de que no pueden ser completas. Existe el bien conocido conflicto entre la teoría general de la relatividad y la teoría cuántica. Existe también el hecho que estoy acentuando, de que el principio de unificación nos dice que debe haber una teoría de la unificación que sea fuera de la teoría cuántica de la computación.

Así que sabemos, en nuestro campo al menos, que Horgan está equivocado. Sabemos que hay enormes brechas en nuestro entendimiento y desigualdades fundamentales entre nuestras mejores teorías y la realidad que ellas supuestamente explican. Sabemos que si estamos al final de alguna era entonces es porque estamos al principio de una nueva que ofrece el prospecto no sólo de algún descubrimiento fundamental sino de nuevos tipos de descubrimientos fundamentales. ■

Traducción de Víctor Ku