



Research Insights

—

# Próximamente en su empresa – Computación cuántica

Cinco estrategias para prepararse  
para la tecnología que cambia  
paradigmas

**IBM Institute for  
Business Value**





## Temas de discusión

### La revolución cuántica

Como la mecánica cuántica describe cómo funciona la naturaleza a un nivel fundamental, la computación cuántica es adecuada para simular procesos y sistemas similares.

### Implíquese en la computación cuántica

Las fuerzas tecnológicas y competitivas están marcando el comienzo de la era cuántica antes de lo esperado. Debido a la empinada curva de aprendizaje de la computación cuántica, un enfoque de “fast follower” solo puede generar rezagados que han gastado demasiado para ponerse al día.

### Cinco pasos concretos

Designe los profesionales líderes como “campeones cuánticos” que pueden evaluar el potencial de la computación cuántica. Identifique las áreas en las que la cuántica puede impulsar su organización a estar por delante de la competencia.

—

La computación cuántica se está aproximando a una fase de comercialización que puede cambiar nuestro mundo. Los primeros en adoptar la capacidad única de la cuántica de resolver determinados tipos de problemas pueden hacer descubrimientos que habiliten nuevos modelos de negocio. Las organizaciones visionarias ya se están alineando con el emergente ecosistema de la computación cuántica para estar “listas para la cuántica”. Estas empresas con visión de futuro están explorando casos de uso y algoritmos asociados que abordan problemas empresariales complejos. Este informe habla sobre el cambio de paradigma que la computación cuántica representa para los negocios, explica por qué es posible que su empresa tenga que tomar medidas ahora, y ofrece cinco recomendaciones para que su organización avance por el camino de la ventaja empresarial cuántica.

## ¿Qué es la computación cuántica?

La computación cuántica saca provecho de las leyes de la mecánica cuántica que se encuentran en la naturaleza y representa un cambio fundamental con respecto al procesamiento clásico de la información. Dos propiedades del comportamiento cuántico, la superposición y el entrelazamiento, pueden permitir que las computadoras cuánticas solucionen problemas imposibles para las actuales computadoras convencionales o clásicas:

- *Superposición.* Las computadoras clásicas utilizan bits binarios que solo pueden representar un “1” o un “0”. En vez de eso, las computadoras cuánticas utilizan cúbits que pueden representar un “1”, un “0” o cualquier combinación (o “superposición”) de los estados posibles de los cúbits. Por lo tanto, una computadora cuántica con  $n$  cúbits puede tener  $2^n$  posibilidades en superposición entre ellas. Esto proporciona a las computadoras cuánticas un conjunto de estados exponencial que pueden explorar para solucionar determinados tipos de problemas mejor que las computadoras clásicas.
- *Entrelazamiento.* En el mundo cuántico, 2 cúbits que estén ubicados incluso a años luz de distancia todavía pueden actuar de formas que están fuertemente correlacionadas. La computación cuántica aprovecha este entrelazamiento para codificar problemas que explotan la interdependencia entre los cúbits.



### Para duplicar la potencia teórica de una computadora clásica,

hay que duplicar su número de transistores. Para duplicar la potencia teórica de una computadora cuántica, solo hay que añadir un cúbit adicional para algunas aplicaciones.



### El procesador cuántico del futuro podría simular una molécula de cafeína,

lo que requeriría una computadora convencional gigantesca, más grande que el 10% del tamaño de la tierra.



### Las computadoras cuánticas que se crearán a corto plazo pueden ayudar a diseñar nuevos materiales

que creen computadoras cuánticas aún más potentes en el futuro.

Las propiedades cuánticas de superposición y entrelazamiento ayudan a permitir que las computadoras cuánticas exploren rápidamente un conjunto enorme de posibilidades para identificar una respuesta que pueda impulsar el valor empresarial. Como las futuras computadoras cuánticas podrán calcular determinadas respuestas exponencialmente más rápido que las computadoras clásicas de hoy (vea la Figura 1), permitirán abordar problemas empresariales exponencialmente más complejos. A pesar de las limitaciones de las computadoras clásicas, no se espera que las computadoras cuánticas las reemplacen en un futuro cercano. En vez de eso, se espera que surjan arquitecturas híbridas clásicas-cuánticas que “externalicen” partes de problemas difíciles a una computadora cuántica.

Parece que la computadora cuántica tiene el potencial de transformar determinadas industrias. Por ejemplo, los métodos actuales de química computacional se basan en gran medida en la aproximación porque las ecuaciones exactas no se pueden solucionar con las computadoras clásicas. Pero, se espera que los algoritmos cuánticos proporcionen simulaciones precisas de moléculas en escalas temporales más largas, lo que actualmente es imposible de modelar con precisión. Esto podría permitir el descubrimiento de medicinas que salvan vidas y reducir de forma significativa el número de años que se necesitan para desarrollar los fármacos.

**Figura 1**

El potencial de la computación cuántica para una significativa aceleración en comparación con las computadoras clásicas<sup>1</sup>

Tipo de escalamiento	Tiempo para solucionar el problema				
	10 segundos	2 minutos	330 años	3,300 años	Edad del universo
Algoritmo clásico con tiempo de ejecución exponencial	10 segundos	2 minutos	330 años	3,300 años	Edad del universo
Algoritmos cuánticos con tiempo de ejecución polinómico	1 minuto	2 minutos	10 minutos	11 minutos	~24 minutos

## Quantum: La cantidad o unidad más pequeña de algo, especialmente energía.<sup>4</sup>

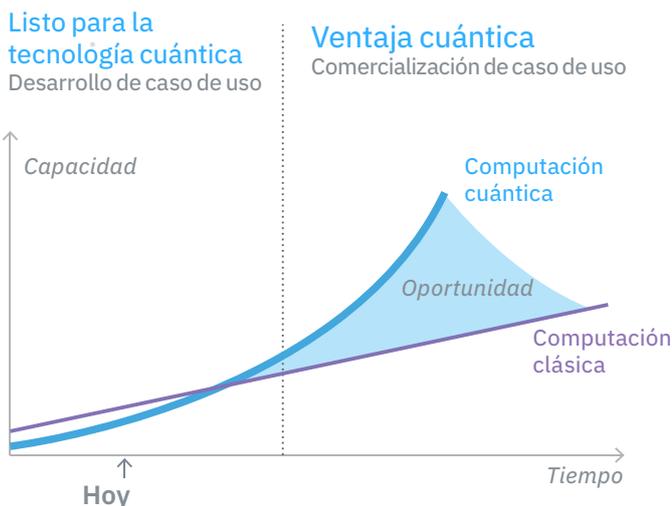
Además, la capacidad prevista de la computación cuántica de solucionar los problemas de optimización logística, que son imposiblemente complejos hoy en día, podría generar ahorros considerables de costos y reducir la huella de carbono. Por ejemplo, considere la posibilidad de mejorar las rutas globales de la billonaria industria del transporte marítimo. Si la computación cuántica pudiese mejorar la utilización de los contenedores y los volúmenes de envío incluso en una pequeña fracción, esto podría ahorrar cientos de millones de dólares a los transportistas. Para beneficiarse de las ventajas de la computación cuántica antes que la competencia, las empresas con visión de futuro ya están desarrollando experiencia para explorar cuáles son los casos de uso que pueden beneficiar a sus propias industrias.

### El surgimiento de la ventaja cuántica

El momento en que las computadoras cuánticas podrán solucionar algunos problemas empresariales que las computadoras clásicas no pueden, a menudo llamado ventaja cuántica, parece estar cerca. Por ejemplo, ya se ha demostrado que los circuitos cuánticos de “profundidad constante” son más potentes que sus homólogos clásicos.<sup>2</sup> La Figura 2 ilustra cuál sería la ventaja cuántica para un caso de uso empresarial específico. No está claro cuándo ocurrirá exactamente la ventaja cuántica para un caso de uso específico, lo que hace que las previsiones del mercado varíen ampliamente durante los próximos cinco años, desde aproximadamente USD 500 millones hasta USD 29,000 millones.<sup>3</sup>

Figura 2

Comercialización de un caso de uso de tecnología cuántica



El desarrollo del ecosistema de la computación cuántica se está acelerando, anticipándose a las oportunidades que creará la nueva tecnología. Están surgiendo startups y colaboraciones entre investigadores y proveedores de tecnología para convertir la investigación cuántica en capacidades que se ajusten al mundo empresarial. Empresas tecnológicas que desarrollan computadoras cuánticas ya están colaborando con empresas para identificar casos de uso potenciales, desarrollar algoritmos cuánticos y probar soluciones en las propias computadoras cuánticas. Este compromiso cada vez mayor de las empresas con la tecnología cuántica acelerará la llegada de las primeras aplicaciones comerciales.

### Cómo seleccionar la computadora cuántica adecuada para su empresa

No todas las computadoras cuánticas se crean de igual manera, ni solucionan los mismos problemas. Desde la más limitada hasta la más versátil, las computadoras cuánticas normalmente se clasifican en tres categorías: algoritmo de temple cuántico, computación cuántica de escala intermedia ruidosa (NISQ),<sup>5</sup> y computación cuántica universal tolerante a fallos.

El consenso de la comunidad científica es que el algoritmo de temple cuántico no será mucho más rápido que la computación clásica.<sup>6</sup> Es más, los templadores cuánticos no están en el camino de desarrollo que lleva a la elaboración de máquinas cuánticas universales tolerantes a fallos. Por lo tanto, no se puede considerar que los templadores cuánticos sean verdaderas computadoras cuánticas.

A corto plazo, las computadoras NISQ tienen el mejor potencial para proporcionar una ventaja empresarial y muchos algoritmos nuevos se están adaptando para ellas. Es más, a medida que aumenta el número de computadoras NISQ, progresan hacia la meta definitiva de la computación cuántica: una computadora cuántica universal tolerante a fallos que pueda encargarse de importantes clases de problemas empresariales y científicos de una forma exponencialmente más rápida que la de las computadoras clásicas.

# “Cuando cambias la forma en que miras las cosas, las cosas que miras cambian”.

Max Planck, el padre de la teoría cuántica<sup>7</sup>

## Conmoción futura: Por qué es posible que su organización tenga que tomar medidas ahora

¿Por qué abordar la computación cuántica ahora? Las fuerzas tecnológicas y competitivas están marcando el comienzo de la era cuántica antes de lo que cabría esperar. Las organizaciones que hoy están pendientes podrían quitar el liderazgo de la industria a quienes no lo están. Estas son tres razones por las cuales las empresas ya se están preparando para la tecnología cuántica:

- Las computadoras cuánticas tienen el potencial para transformar las cadenas de valor de la industria, especialmente en las áreas de química, biología, cuidados de la salud, ciencia de materiales, finanzas e inteligencia artificial (IA).
- Debido a la empinada curva de aprendizaje de la computación cuántica, un enfoque de “fast follower” solo puede generar rezagados que han gastado demasiado para ponerse al día.
- Se tardará tiempo en crear un “Centro de Competencia Cuántica” interno.

### Las computadoras cuánticas tienen potencial para transformar las cadenas de valor de la industria

Se espera que las computadoras cuánticas transformen las industrias porque tienen el potencial de encargarse de problemas exponencialmente complejos que las computadoras clásicas no pueden solucionar. Las próximas computadoras cuánticas podrían ayudar a descubrir productos en áreas como química, biología, cuidados de la salud, finanzas, IA y ciencia de materiales, lo que permitiría que las empresas visionarias que las adopten obtengan rápidamente ganancias de cuota de mercado y una mayor rentabilidad. De esta forma, las capacidades de resolución de problemas de la computación cuántica podrían redefinir drásticamente la ventaja competitiva, transformando los modelos operativos de empresas y las cadenas de valor que revolucionan industrias enteras.

Por ejemplo, la optimización de los sistemas de logística normalmente se basa en un modelo de red “hub and spoke”. El problema de diseñar de manera óptima rutas individuales de punto a punto que satisfagan varios requisitos de una red logística a gran escala es muy complejo y puede quedar rápidamente fuera del alcance de las supercomputadoras clásicas. Si uno quisiera explorar todas las posibilidades de un problema de optimización como ese, podría tardar miles de millones de años, incluso si solo tuviese cientos de

terminales en la red. La computación cuántica podría ser capaz de explorar todas las posibilidades mucho más rápido. Por ejemplo, en el contexto de la optimización de los horarios de las aerolíneas, la computación cuántica podría ser capaz de crear diariamente programaciones de vuelo ad hoc, especialmente diseñadas para los miles de pasajeros que vuelan a cientos de destinos en un día específico, lo que reduce la duración del viaje de los clientes, la congestión del tráfico aéreo y los costos de las aerolíneas en combustible. Si una empresa desarrollara una solución cuántica para la optimización del diseño de redes logísticas, rápidamente podría aspirar a convertirse en la líder del mercado en todas las industrias donde la logística sea fundamental para el éxito.

### Un enfoque de “fast follower” solo puede generar rezagados que han gastado demasiado.

A diferencia de los avances tecnológicos más lineales o incrementales, es menos probable que un enfoque de fast follower sea efectivo para adoptar la computación cuántica. Esto se debe a:

- La empinada curva de aprendizaje de la computación cuántica
- Excesivos costos asociados a las actividades para “ponerse al día”.

Considere un caso de uso que una computadora cuántica podría resolver exponencialmente más rápido que una máquina clásica, por ejemplo, diseñar un material específicamente para las industrias de la electrónica o del transporte que sea significativamente más liviano y fuerte que las sustancias actuales (vea la Figura 2). El desarrollo acelerado de dicho material revolucionario pondría en poco tiempo a un fabricante en posición de superar a sus competidores. Avanzando en la curva de aprendizaje, este líder de mercado recientemente “habilitado para la computación cuántica” podría rápidamente obtener una ventaja sobre sus competidores perfeccionando su material innovador y expandiéndose a nuevos materiales personalizados para otras aplicaciones.

Aunque es hipotético, este ejemplo ilustra cómo una empinada curva de aprendizaje podría dificultar enormemente, incluso para los llamados fast followers, ponerse al día rápidamente con las empresas pioneras, lo que podría generar escenarios en los que el ganador “se lo lleva todo” en determinadas industrias. Incluso si fuese posible ponerse al día en un caso de uso específico, probablemente estaría asociado con costos exorbitantes relacionados, por ejemplo, con la adquisición de experiencia interna, la obtención de acceso a la mejor infraestructura, la financiación de colaboraciones beneficiosas o la adquisición de una empresa con las capacidades necesarias.

## Se tardará tiempo en crear un Centro de Competencia Cuántica interno

Aunque la mayoría de las empresas ya han oído hablar de la computación cuántica, muchas no tienen el talento o la experiencia necesarios para aprovechar su inminente transformación empresarial, y no les será fácil adquirirla. La oferta de talento en computación cuántica es limitada, y existe una feroz competencia por los recursos especializados.

Una vez que las personas adecuadas están contratadas, es posible que se tarden años en desarrollar una comprensión profunda del impacto potencial de la computación cuántica en una determinada empresa. Los cambios recientes en la tecnología, como la migración que duró casi una década a las unidades de procesamiento gráfico (GPU) para acelerar las cargas de trabajo de big data, indican el tiempo que se necesita para crear la competencia al adoptar una nueva tecnología.

Dado el potencial de la computación cuántica para realizar una transformación radical de la industria, la capacidad exponencial de resolver problemas y la dificultad de obtener recursos con habilidades cuánticas, las empresas líderes deberían considerar ponerse en acción ahora.

## Cómo obtener la ventaja cuántica para su empresa

¿Qué podría simplificar la comercialización de la computación cuántica para su empresa? A corto y medio plazo, la computación cuántica podría traer beneficios empresariales en tres áreas: simulación cuántica, optimización cuántica y aprendizaje automático asistido por cuántica (vea la Figura 3).

### Simulación cuántica

Como la mecánica cuántica describe cómo funciona la naturaleza a un nivel fundamental, la computación cuántica es adecuada para crear modelos de los procesos y sistemas que ocurren en la naturaleza (vea la barra lateral “IBM” de la página 6). Esta gran capacidad podría abrir la puerta a que los fabricantes de automóviles eléctricos desarrollasen baterías más duraderas. Las startups de biotecnología podrían desarrollar rápidamente medicamentos hechos a medida para un paciente específico. Se podrían reducir los costos de la transmisión de la electricidad. Se podrían fabricar fertilizantes de una forma más eficiente, lo que tendría excelentes implicaciones para el cultivo de los alimentos del mundo.

Figura 3

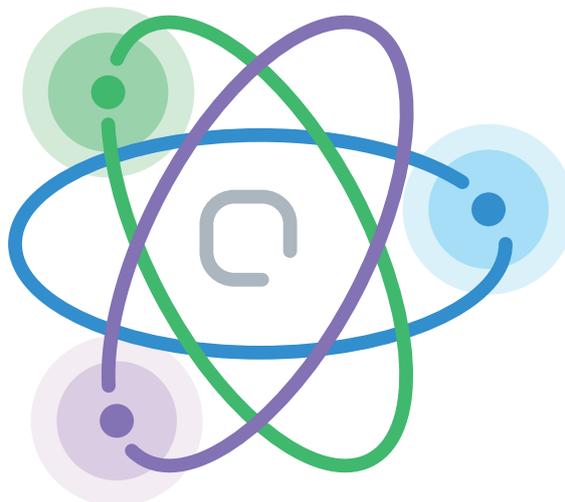
Los usos previstos de la computación cuántica NISQ

### Aprendizaje automático

- Muestreo
- Interacciones adaptativas entre proveedores/clientes
- Asistencia para decisiones
- Capacitación

### Simulación

- Química
- Productos farmacéuticos
- Materiales
- Baterías eléctricas



### Optimización

- Viajes y transportes
- Logística/cadena de suministro
- Infraestructura de la red
- Control del tráfico aéreo
- Planificación del trabajo
- Servicios financieros

## Los investigadores de IBM simulan la mayor molécula de la historia en una computadora cuántica

Los científicos de IBM se ganaron la portada de la edición del 14 de septiembre de 2017 de Nature al simular el hidruro de berilio (BeH<sub>2</sub>), la mayor molécula jamás simulada en una computadora cuántica.<sup>9</sup> Los investigadores utilizaron 6 cúbits de un sistema IBM Q de 7 cúbits, una computadora NISQ, para ser capaces de medir el estado de menor energía del BeH<sub>2</sub>, un cálculo clave para entender las reacciones químicas. Aunque este modelo de BeH<sub>2</sub> se puede simular en una computadora clásica (para verificar los resultados de la computadora cuántica), este logro es el próximo paso en la ruta a seguir para que los sistemas cuánticos a corto plazo creen modelos de reacciones químicas más complicadas. A medida que se construyen sistemas cuánticos más potentes y se desarrollan herramientas y técnicas concurrentes, se espera encontrar aplicaciones innovadoras para la química y las life sciences.

## JP Morgan Chase explora la ventaja cuántica

Dada la abundancia de vehículos de inversión, combinaciones de carteras y posibles escenarios financieros, hoy en día los asesores financieros no pueden crear y gestionar una cartera financiera personalizada que haya evaluado prácticamente todas las opciones posibles.

Pero las computadoras cuánticas podrían investigar el universo de opciones de inversión, ejecutando escenarios de valoración y riesgo adaptados a los criterios específicos de performance de cada cliente.

JP Morgan Chase ya está experimentando la computación cuántica junto con IBM, para buscar la ventaja cuántica en áreas como las estrategias de inversión, la optimización de carteras, la valoración de los activos y el análisis de riesgo.<sup>10</sup> Las apuestas son altas. Si una institución financiera pudiera obtener una ventaja competitiva utilizando la computación cuántica, podría acumular miles de millones tanto para los clientes como para los accionistas antes de que la competencia pudiera ponerse al día.

## Optimización cuántica

El arte de solucionar problemas de optimización conlleva encontrar la mejor u “óptima” solución en una situación en la que existen muchas respuestas posibles. Tomemos el ejemplo de crear un cronograma para la entrega de paquetes. Matemáticamente, existen más de 3.6 millones de combinaciones posibles para programar diez entregas en franjas horarias adyacentes.<sup>8</sup> Pero ¿qué cronograma representa la solución óptima cuando se dan variables como los requisitos de horarios de los destinatarios, los retrasos potenciales y la vida útil de los bienes que se transportan? Incluso cuando se aplican técnicas de aproximación, el número de posibilidades sigue siendo demasiado grande como para que las explore la computación clásica.

Como resultado, actualmente las computadoras clásicas toman grandes atajos para solucionar problemas de optimización de gran tamaño. Lamentablemente, es probable que sus soluciones a menudo no sean óptimas. Entre las empresas que se podrían beneficiar de la optimización cuántica están:

- Las empresas de telecomunicaciones que están actualizando su infraestructura de red
- Los proveedores de cuidados de la salud que optimizan los tratamientos de los pacientes
- Los gobiernos que mejoran el control del tráfico aéreo
- Las empresas minoristas y de productos de consumo que personalizan sus ofertas de marketing
- Las empresas de servicios financieros que mejoran su optimización del riesgo
- Las organizaciones que elaboran el calendario laboral de los empleados
- Las universidades que programan las clases.

Aunque ninguna ha proporcionado todavía una prueba matemática que confirme que la computación cuántica acelerará exponencialmente la optimización de problemas, los investigadores están trabajando para demostrar esto de forma heurística. En su búsqueda para adelantarse a sus competidores, las empresas con visión de futuro ya están explorando la resolución de problemas de optimización con la computación cuántica. Sus previsiones se pueden convertir en beneficios después de que se confirmen las primeras demostraciones de la ventaja cuántica en la optimización (vea la barra lateral “JP Morgan Chase”).

## IA mejorada por la computación cuántica

Dada su capacidad de explorar un gran conjunto de posibilidades que una computadora clásica no puede procesar, la computación cuántica podría ampliar la maestría de la IA. De hecho, la simbiosis entre la IA y la computación cuántica está comenzando a generar un círculo virtuoso de progreso en ambos campos. Por ejemplo, los algoritmos cuánticos pueden mejorar el aprendizaje automático en el área de la creación de clústeres de datos,<sup>11</sup> mientras que el aprendizaje automático se puede utilizar para entender mejor los sistemas cuánticos.<sup>12</sup>

Las computadoras cognitivas con tecnología cuántica podrían eventualmente dominar prácticamente todas las industrias, proporcionando a los profesionales un soporte avanzado y proactivo para la toma de decisiones, capacitaciones específicas y con capacidad de respuesta a los empleados y, a los clientes, relaciones adaptables y personalizadas de forma única con los proveedores.

## Adéntrese en su futuro cuántico con estas cinco estrategias

Las empresas que adopten pronto la NISQ podrían superar a sus compañeras innovando drásticamente en sus modelos operativos y creando los primeros productos de su tipo. Si quiere estar a la vanguardia, ahora es el momento de que su empresa esté lista para la cuántica (vea la Figura 4).

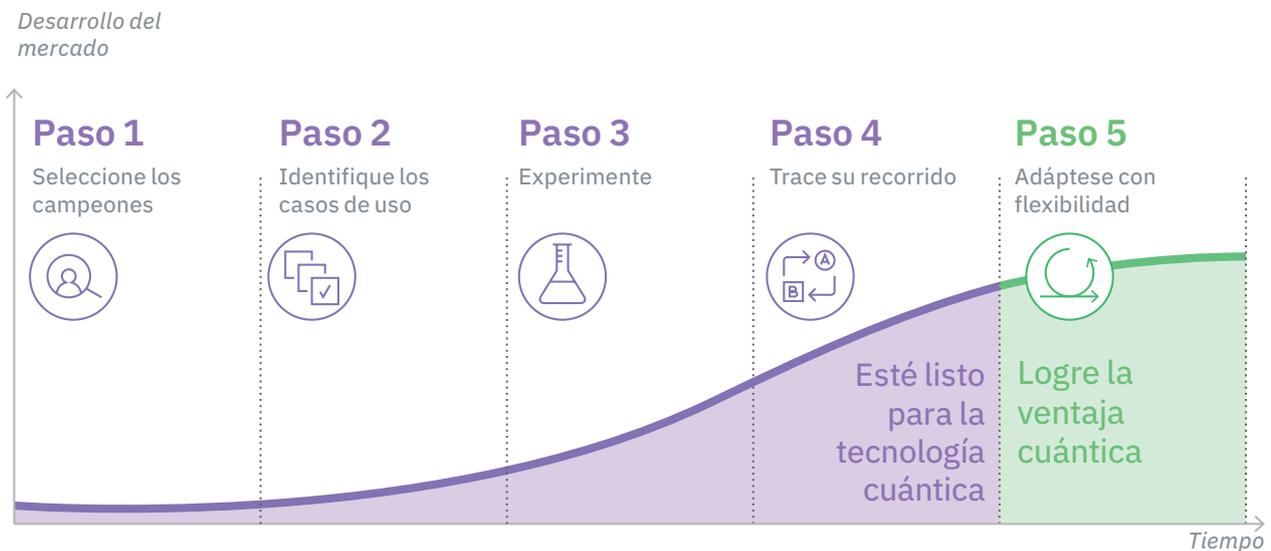
### 1. Seleccione sus campeones cuánticos

Es probable que su organización necesite aprender más sobre los posibles beneficios de la computación cuántica. Esta es la forma de empezar a usarla:

- Nombre como “campeones cuánticos” a algunos de sus principales profesionales.
- Haga que sus campeones cuánticos entiendan la computación cuántica, su impacto potencial en su industria, cómo están respondiendo sus competidores y cómo su empresa podría beneficiarse.
- Haga que sus campeones cuánticos informen periódicamente a la alta dirección para que la organización tenga conocimiento y alinee su progreso a los objetivos estratégicos.

**Figura 4**

La ruta hacia su futuro cuántico



## Ponga en marcha la hoja de ruta de su organización para la computación cuántica

Para ayudar que su empresa trace el rumbo hacia la adopción de la computación cuántica, tiene que:

- Entender qué es la computación cuántica y cómo puede afectar a su industria.
- Identificar los desafíos empresariales en los que la computación cuántica puede ofrecer una ventaja competitiva.
- Evaluar el valor empresarial potencial que su organización puede obtener de la aplicación de la tecnología de computación NISQ a sus desafíos empresariales.
- Desarrollar una hoja de ruta para la computación cuántica que incluya los próximos pasos que se alinean con su objetivo estratégico.

IBM Q Consulting realiza talleres interactivos que movilizan a consultores, científicos cuánticos y expertos de la industria para ayudar a que su organización entienda cómo la computación cuántica podría encajar en su estrategia de negocio y en su crecimiento futuro.<sup>14</sup>

“La naturaleza no es clásica ... y si se quiere hacer una simulación de la naturaleza, es mejor hacerla con mecánica cuántica ...”

Richard Feynman, Físico norteamericano, 1981<sup>13</sup>

### 2. Empiece identificando los casos de uso de la computación cuántica y las proposiciones de valor asociadas

Cuando sus campeones cuánticos entiendan cómo funciona la computación cuántica y cómo podría abordar sus oportunidades y desafíos empresariales, haga que empiecen a identificar las áreas en las que la computación cuántica podría hacer que su organización se adelante a su competencia.

Evalúe las oportunidades basándose en las capacidades únicas de los sistemas cuánticos y en su capacidad de aumentar la ventaja. Haga que sus campeones cuánticos supervisen el progreso en el desarrollo de aplicaciones cuánticas para realizar un seguimiento de qué casos de uso se podrían comercializar antes. Para ayudar a garantizar que su exploración cuántica se vincule a los resultados empresariales, seleccione sus aplicaciones de computación cuántica más prometedoras, como la creación de productos y servicios innovadores o nuevas formas de optimizar su cadena de suministro.

### 3. Experimente con sistemas cuánticos reales

Desmitifique la computación cuántica probando una computadora cuántica real (vea la barra lateral). Haga que sus campeones cuánticos entiendan cómo la computación cuántica podría solucionar sus problemas empresariales e interactuar con sus herramientas actuales. La solución cuántica puede no ser adecuada para todos los problemas empresariales. Sus campeones tienen que centrarse en soluciones para los casos de uso de más prioridad que sus computadoras clásicas no pueden solucionar de una forma práctica.

### 4. Trace su recorrido cuántico

Construya una hoja de ruta para la computación cuántica, que incluya los siguientes pasos viables, con el objetivo de solucionar problemas que puedan crear barreras competitivas formidables y buscar una ventaja empresarial sostenible. Para acelerar la preparación de su organización para la computación cuántica, considere la posibilidad de unirse a una comunidad cuántica emergente. Esto puede ayudarlo a obtener un mejor acceso a la infraestructura técnica, las aplicaciones industriales que evolucionan y los investigadores que pueden mejorar el desarrollo de sus aplicaciones cuánticas específicas.

## 5. Sea flexible acerca de su futuro cuántico

La computación cuántica está evolucionando rápidamente. Busque tecnologías y kits de herramientas de desarrollo que se estén convirtiendo en estándares de la industria y alrededor de las cuales se estén fusionando los ecosistemas. Tenga en cuenta que es posible que nuevos avances hagan que tenga que ajustar su enfoque a su proceso de desarrollo cuántico, lo que incluye el cambio de socios del ecosistema. Sea consciente de cómo sus propias necesidades de computación cuántica pueden evolucionar a medida que pasa el tiempo, especialmente cuando mejore su comprensión de qué asuntos empresariales se podrían beneficiar más de las soluciones de computación cuántica.

## ¿Su organización está preparada para conquistar la ventaja cuántica?

Existen problemas empresariales que las computadoras clásicas no pueden solucionar, y nunca lo harán. Ahora es el momento de que prepare su empresa para la tecnología cuántica para que obtenga una futura ventaja cuántica:

- ¿Qué nivel de conciencia y conocimiento relativo a la tecnología cuántica tiene actualmente su organización?
- ¿Cómo podría la computación cuántica crear cambios en su industria, y específicamente en su cadena de valor?
- ¿Qué problemas de simulación, optimización o aprendizaje automático son esenciales para la ventaja competitiva de su compañía?
- ¿Qué casos de uso de la computación cuántica entregarían el máximo valor competitivo y empresarial a su negocio?
- ¿Y si su competencia sacase provecho de las soluciones cuánticas antes que usted?

## Pruebe una computadora cuántica

IBM Q Experience y Qiskit permiten el acceso gratuito a computadoras cuánticas de 16-cúbit de IBM, así como a simuladores, recursos educativos y una comunidad colaborativa comprometida con la exploración de la computación cuántica.<sup>15</sup> Los algoritmos y experimentos cuánticos se están desarrollando con un framework de programación de código abierto y basado en Python, llamado Qiskit. Entre los recursos disponibles están los tutoriales de Jupyter notebook que solucionan problemas de simulación y optimización<sup>16</sup> y más de 120 artículos de investigación que abordan temas como el descubrimiento de nuevas aplicaciones para la computación cuántica y la creación de nuevas funcionalidades, como los compiladores cuánticos. Expertos en química, IA y optimización que no están familiarizados con la computación cuántica pueden utilizar Qiskit Aqua, una biblioteca extensible de algoritmos cuánticos de código abierto para investigar aplicaciones del mundo real. Hasta la fecha, más de 100,000 usuarios de empresas e instituciones educativas de siete continentes (incluso la Antártida) han ejecutado más de 6.5 millones de experimentos cuánticos en IBM Q Experience a través de IBM Cloud.

## Únase a una comunidad emergente de computación cuántica

Las colaboraciones entre proveedores de tecnología y organizaciones visionarias están aumentando. Su objetivo es nada menos que desarrollar casos de uso de computación cuántica y sus aplicaciones correspondientes que resuelvan problemas del mundo real que antes eran imposibles. IBM Q Network es un ecosistema global de empresas de la lista Fortune 500, principales instituciones académicas, startups y laboratorios de investigación nacional, habilitados por las computadoras cuánticas, científicos, ingenieros y consultores de IBM. Los participantes colaboran para acelerar los avances en la computación cuántica que puedan producir las primeras aplicaciones comerciales.<sup>17</sup>

Las organizaciones que se unen a IBM Q Network pueden ver cómo sus problemas de alto valor se asignan a una computadora cuántica real. Actualmente, pueden acceder a un procesador cuántico de 20-cúbit de IBM Q a través de IBM Cloud. En el futuro, podrán acceder a una computadora cuántica de 50-cúbit.

## Para obtener más información

Para obtener más información sobre este estudio de IBM Institute for Business Value, contáctenos en [iibv@us.ibm.com](mailto:iibv@us.ibm.com). Siga a [@IBMIBV](https://twitter.com/IBMIBV) en Twitter, y para obtener un catálogo completo de nuestras investigaciones o para suscribirse a nuestro boletín de noticias mensual, visite: [ibm.com/ibv](https://ibm.com/ibv).

Para acceder a los informes ejecutivos de IBM Institute for Business Value en su dispositivo móvil, descargue las aplicaciones gratuitas “IBM IBV” para teléfono o tablet desde su tienda de aplicaciones.

## El asociado adecuado para un mundo cambiante

En IBM, colaboramos con nuestros clientes, reuniendo conocimiento de negocios, investigación avanzada y tecnología para darles una clara ventaja en el cambiante entorno de hoy.

## IBM Institute for Business Value

IBM Institute for Business Value (IBV), parte de los Servicios de IBM, desarrolla insights estratégicos basados en datos para ejecutivos de negocios sénior acerca de temas críticos de los sectores público y privado.

## Acerca de los autores



### Dr. Dario Gil

[linkedin.com/in/dario-gil-58575713](https://www.linkedin.com/in/dario-gil-58575713)  
[dario.gil@us.ibm.com](mailto:dario.gil@us.ibm.com)

Dr. Dario Gil es Chief Operating Officer de IBM Research, una organización global con más de 3,000 investigadores en 13 laboratorios dedicados a avanzar las fronteras de la tecnología de la información. También es Vice President de AI and Quantum Computing, responsable por los esfuerzos de investigación global de IBM en IA y del programa de computación cuántica de IBM.



### Jesus Mantas

[linkedin.com/in/jmantas](https://www.linkedin.com/in/jmantas)  
[jesus.mantas@us.ibm.com](mailto:jesus.mantas@us.ibm.com)

Jesus Mantas es Managing Partner de IBM Global Business Services, y supervisa la estrategia global, las ofertas, los activos cognitivos, las fusiones y las adquisiciones e IBM Institute for Business Value. Lleva más de 35 años utilizando la tecnología para transformar las empresas de los clientes. Es Chair of Hispanic Diversity de IBM y lidera iniciativas para enseñar la tecnología de la IA a las niñas.



### Dr. Robert Sutor

[linkedin.com/in/bobsutor](https://www.linkedin.com/in/bobsutor)  
[sutor@us.ibm.com](mailto:sutor@us.ibm.com)

El Dr. Robert Sutor es Vice President de Quantum Computing Strategy and Ecosystem de IBM Research. Es un líder innovador y tecnólogo con amplia experiencia en computación cuántica, IA, blockchain, análisis, ciencia de datos, aplicaciones y tecnologías móviles, nube, redes sociales, código abierto e investigación industrial.



### Lynn Kesterson-Townes

[linkedin.com/in/lynnkesterson](https://www.linkedin.com/in/lynnkesterson)  
[lkt@us.ibm.com](mailto:lkt@us.ibm.com)

Lynn Kesterson-Townes es Global Cloud and Quantum Leader de IBM Institute for Business Value. Tiene más de 20 años de experiencia en consultoría de gestión, desarrollo empresarial, planificación estratégica, marketing y fusiones y adquisiciones.



### Dr. Frederik Flöther

[linkedin.com/in/frederikfloether](https://www.linkedin.com/in/frederikfloether)  
[frederik.floether@ch.ibm.com](mailto:frederik.floether@ch.ibm.com)

Dr. Frederik Flöther es el Global Life Sciences Leader de IBM Q Consulting y tiene un doctorado en física cuántica. Trabaja con clientes para impulsar el valor a través de tecnologías de próxima generación, especialmente la computación cuántica y la IA.



### Chris Schnabel

[linkedin.com/in/Schnabel](https://www.linkedin.com/in/Schnabel)  
[chris.schnabel@us.ibm.com](mailto:chris.schnabel@us.ibm.com)

Chris Schnabel es Global Quantum Computing Offering Manager de IBM. Es un líder altamente analítico y tiene una amplia experiencia técnica y de ingeniería en la definición y ejecución de estrategias, liderando las ofertas de productos y servicios de computación cuántica de IBM.

## Colaboradores

Los autores agradecen al Dr. Anthony Annunziata, Dr. Jerry Chow, al Dr. Jay Gambetta y a Joe Raffa sus contribuciones para el desarrollo de este informe ejecutivo.

## Cómo IBM puede ayudar

IBM está creando las primeras computadoras cuánticas universales para los negocios y la ciencia. IBM Q Experience y Qiskit permiten el acceso gratuito a computadoras cuánticas de IBM, así como a simuladores, recursos educativos y una comunidad colaborativa comprometida con la exploración de la computación cuántica. Las organizaciones que se unen a IBM Q Network pueden colaborar y acceder a tecnologías más avanzadas, incluso a sistemas cuánticos más grandes de IBM Q a través de IBM Cloud. IBM Q Consulting ayuda a que sus clientes definan sus estrategias cuánticas mediante la movilización de consultores, científicos cuánticos y expertos de la industria para definir cómo la computación cuántica y la alta performance pueden crear una ventaja. Para obtener más información, visite [ibm.com/ibmq](https://ibm.com/ibmq)

## Metodología

Para crear este informe, además de realizar una revisión completa de los artículos y documentos de investigación publicados, entrevistamos a ejecutivos, científicos, investigadores, gestores de ofertas y consultores de IBM que trabajan en IBM Q. También hablamos con expertos en startups cuánticas, empresas de capital de riesgo, universidades y proveedores de plataformas de tecnología cuántica.

## Informes relacionados

Sutor, Robert y Heather Higgins. “Taking the quantum leap: Why now?” IBM Institute for Business Value. Febrero de 2018. [ibm.biz/whyquantum](https://ibm.biz/whyquantum)

Rjaibi, Walid, Sridhar Muppidi y Mary O’Brien. “Wielding a double-edged sword: Preparing cybersecurity now for a quantum world.” IBM Institute for Business Value. Julio de 2018. [ibm.biz/quantumsecurity](https://ibm.biz/quantumsecurity)

A medida que se publiquen más estudios cuánticos, los publicaremos en [ibm.biz/ibvquantum](https://ibm.biz/ibvquantum)

## Acerca de Research Insights

Los informes de Research Insights proporcionan insights basados en hechos para ejecutivos empresariales sobre temas importantes del sector público y privado. Se basan en los resultados del análisis de nuestros propios estudios de investigación primaria. Para obtener más información, entre en contacto con IBM Institute for Business Value en [iibv@us.ibm.com](mailto:iibv@us.ibm.com).

## Notas y fuentes

- 1 Análisis interno de IBM basado en una función polinómica ( $a^n$  para  $a=1$ ) y en una función exponencial ( $a^k^n$  para  $a=1$  y  $k=10$ ).
- 2 Sergey Bravyi, David Gosset, Robert Koenig. “Quantum Advantage with Shallow Circuits.” Biblioteca de la Universidad de Cornell. <https://arxiv.org/abs/1704.00690>
- 3 “Quantum Computing Market by Revenue Source, Application (Simulation, Optimization, and Sampling), Industry (Defense, Banking & Finance, Energy & Power, Chemicals, and Healthcare & Pharmaceuticals), and Geography – Global Forecast to 2023.” marketsandmarkets.com. Agosto de 2017. [https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/quantum-computing-market-144888301.html?gclid=EAIaIQobChMI9qarXia\\_2gIVkFuGCh022AfdEAAYASAAEgKnxfD\\_BwE](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/quantum-computing-market-144888301.html?gclid=EAIaIQobChMI9qarXia_2gIVkFuGCh022AfdEAAYASAAEgKnxfD_BwE), Vlastelica, Ryan. “Why Goldman sees veggie burgers among the future’s most exciting technologies.” MarketWatch. 15 de diciembre de 2017. <https://www.marketwatch.com/story/why-goldman-sees-veggie-burgers-among-the-futures-most-exciting-technologies-2017-12-13>
- 4 Definición de cuántico. Diccionario Cambridge. <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/quantum>. Fecha de consulta: 9 de julio de 2018.
- 5 Preskill, John. “Quantum computing in the NISQ era and beyond.” Biblioteca de la Universidad de Cornell. 31 de julio de 2018. <https://arxiv.org/abs/1801.00862v3>
- 6 Vincent, James. “Biggest ever quantum chip announced, but scientists aren’t buying it.” The Verge. 28 de septiembre de 2016. <https://www.theverge.com/2016/9/28/13057414/quantum-computer-d-wave-2000-qubit-chip>
- 7 “Max Planck Quotes.” Goodreads. Fecha de consulta: 17 de diciembre de 2019. <https://www.goodreads.com/quotes/1246159-when-you-change-the-way-you-look-at-things-the>
- 8  $10! = 3.63$  millones
- 9 comunicado de prensa de IBM. “IBM Pioneers New Approach to Simulate Chemistry with Quantum Computing.” 13 de septiembre de 2017. <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/53137.wss>

- 10 comunicado de prensa de IBM. "IBM Announces Collaboration with Leading Fortune 500 Companies, Academic Institutions and National Research Labs to Accelerate Quantum Computing." 14 de diciembre de 2017. <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/53483.wss>. Kahn, Jeremy. "IBM Taps Samsung, JPMorgan, Daimler in Quantum Computing Push". Bloomberg. 14 de diciembre de 2017. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-12-14/ibm-taps-samsung-jpmorgan-daimler-in-quantum-computing-push>
- 11 Marr, Bernard. "How Quantum Computers Will Revolutionize Artificial Intelligence, Machine Learning and Big Data." Forbes. 5 de septiembre de 2017. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/09/05/how-quantum-computers-will-revolutionize-artificial-intelligence-machine-learning-and-big-data/#1cb5483e5609>. Biamonte, Jacob, Peter Wittek, Nicola Pancotti, Patrick Rebentrost, Nathan Wiebe, Seth Lloyd. "Quantum machine learning." Nature. 13 de septiembre de 2017. <https://www.nature.com/articles/nature23474>
- 12 Torlai, Giacomo, Guglielmo Mazzola, Juan Carrasquilla, Matthias Troyer, Roger Melko, Giuseppe Carleo. "Neural-network quantum state tomography." Nature. 26 de febrero de 2018. <https://www.nature.com/articles/s41567-018-0048-5>
- 13 Feynman, Richard. "On quantum physics and computer simulation." Los Alamos Science. Número 27, 2002. <http://permalink.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-UR-02-4969-02>
- 14 "Jump-start quantum computing with IBM Q Consulting." ibm.com. <https://www.research.ibm.com/ibm-q/consulting/> Fecha de consulta: 9 de julio de 2018.
- 15 "Welcome to the IBM Q experience!" ibm.com. <https://quantumexperience.ng.bluemix.net/> Fecha de consulta: 9 de julio de 2018.
- 16 Disponible a través del repositorio Qiskit de GitHub de acceso abierto en <https://github.com/Qiskit>
- 17 "IBM Q Network: Bringing quantum out of the lab and into the world." ibm.com. <https://www.research.ibm.com/ibm-q/network/#/>. Fecha de consulta: 9 de julio de 2018.

#### **IBM de México S.A.**

Alfonso Nápoles Gandara 3111  
Col. Parque corporativo de Peña Blanca  
C.P. 01210  
México D.F

La página de inicio de IBM se puede encontrar en:  
**ibm.com**

IBM, el logotipo de IBM, ibm.com y Watson son marcas registradas de International Business Machines Corp., registradas en muchas jurisdicciones de todo el mundo. Otros nombres de productos y de servicios pueden ser marcas registradas de IBM o de otras empresas. Hay una lista actualizada de las marcas registradas de IBM disponible en la web en "Copyright and trademark information" en: [ibm.com/legal/copytrade.shtml](http://ibm.com/legal/copytrade.shtml).

Este documento es vigente en la fecha de publicación inicial y puede ser modificado en cualquier momento por IBM. No todas las ofertas están disponibles en todos los países en los que IBM opera.

LA INFORMACIÓN DE ESTE DOCUMENTO SE PROPORCIONA "COMO ESTÁ" SIN NINGUNA GARANTÍA, EXPRESA O IMPLÍCITA, LO QUE INCLUYE NINGUNA GARANTÍA DE COMERCIABILIDAD, ADECUACIÓN A UN PROPÓSITO ESPECÍFICO Y NINGUNA GARANTÍA O CONDICIÓN DE NO INFRACCIÓN. Los productos de IBM están garantizados según los términos y condiciones de los acuerdos bajo los que se proporcionan.

El propósito de este informe es meramente de orientación. No pretende ser un sustituto de la investigación detallada o del ejercicio del criterio profesional. IBM no será responsable por cualquier pérdida sufrida por cualquier organización o persona que se base en esta publicación.

Los datos utilizados en este informe pueden obtenerse a partir de fuentes de terceros e IBM no verifica, valida o audita de manera independiente dichos datos. Los resultados del uso de dichos datos se proporcionan "como están" e IBM no hace declaraciones ni garantías, expresas o implícitas.

© Copyright IBM Corporation 2020

