

FUTURE TRENDS FORUM

# Quantum Computing e Inteligencia Artificial: la revolución silenciosa

# Contenido

<b>01</b>	¿Por qué Quantum e inteligencia artificial?	04
<b>02</b>	Tecnologías cuánticas	09
	Estado del arte en las tecnologías cuánticas	
<b>03</b>	Inteligencia Artificial avanzada	14
	Aprendizaje automático cuántico y BCIs	
	Inteligencia artificial generativa	
<b>04</b>	Oportunidades y retos de las tecnologías cuánticas + IA	21
	Aplicaciones disruptivas en el mundo real	
	Sectores clave para aplicaciones de alto impacto y futuro	
	Nuevos modelos de negocio con Quantum Computing:	
	· Grandes compañías	
	· Startups	
	Oportunidades y retos de Europa / España	





<b>05</b>	<b>Ética, educación y adquisición de talento</b>	37
	Ética para quantum computing e inteligencia artificial	
	Educación y adquisición de talento	
	• Una nueva narrativa para Quantum e inteligencia artificial	
<hr/>		
<b>06</b>	<b>Acciones a realizar para sumarse a la revolución Quantum + IA</b>	42
	Hoja de ruta estrategia cuántica para líderes empresariales	
	Tecnologías cuánticas y nuevos perfiles profesionales	
	Fomento de las startups Quantum + IA en España/Europa	
<hr/>		
<b>07</b>	<b>Predicciones sobre Quantum + IA</b>	46
	Anexo - Glosario	51

1



¿Por qué  
Quantum e  
Inteligencia  
Artificial?



1

# ¿Por qué Quantum e Inteligencia Artificial?

La combinación de IA y tecnologías cuánticas puede tener un impacto significativo en campos como las ciencias fundamentales, la medicina y la industria. Entonces, ¿por qué decimos que es una revolución silenciosa? Es "silenciosa" porque los grandes avances en tecnologías cuánticas, acelerados gracias a la inteligencia artificial, se están produciendo a nivel experimental e industrial, siendo aún tecnologías emergentes. Es decir, se están preparando los miembros de la revolución cuántica, pero aún de manera imperceptible para el gran público. Cuando surjan, lo harán de manera exponencial y, seguramente, sorpresiva para quien no esté al tanto.

La Fundación Innovación Bankinter ha celebrado su *think tank Future Trends Forum*, reuniendo a cerca de cuarenta expertos mundiales para estudiar este tema, analizar el estado del arte de estas tecnologías y hacer recomendaciones respecto a los retos y oportunidades que presentan.

Las tecnologías cuánticas son un conjunto de técnicas y herramientas que se basan en las leyes de la física cuántica y que se utilizan para abordar la resolución de problemas complejos. Se engloban en tres grandes grupos:

01

La **computación cuántica** -*Quantum Computing*-, que se utiliza para realizar cálculos más rápidos y precisos que los ordenadores clásicos para ciertos tipos de problemas, típicamente problemas de optimización, simulación y *machine learning* e inteligencia artificial.

02

La **comunicación cuántica**, que permite la transmisión segura de información a través de grandes distancias y, potencialmente, a mayores velocidades que las comunicaciones clásicas.

03

La **medición cuántica** (también denominada **sensórica cuántica**), que se refiere a la utilización de fenómenos cuánticos para medir y detectar señales muy débiles.



De manera transversal a las dos primeras, se encuentra la **criptografía cuántica**, una de las aplicaciones prácticas que más interés industrial existe.

Las tecnologías cuánticas tienen el potencial de ofrecer un rendimiento y capacidad de procesamiento significativamente superior a la tecnología tradicional. Pero no sólo eso, también están abriendo un **nuevo horizonte en la manera de pensar la forma en que se resuelven los problemas** y, por tanto, en la creación de **nuevos enfoques científicos y nuevos algoritmos**. Es lo que el experto **Brian Lenahan** denomina una **actitud de inspiración cuántica**, o "*quantum inspired*".

Por su parte, la **IA avanzada** es capaz de procesar grandes cantidades de datos y **encontrar patrones** que pueden ser difíciles de detectar para los seres humanos y, mediante el **aprendizaje automático**, adquiere la **capacidad de adaptarse y aprender** de nuevas situaciones. La inteligencia artificial, especialmente en el campo del **aprendizaje automático** con refuerzo y, más en concreto, la **Inteligencia Artificial generativa**, lleva un año de constantes avances que apuntan a un **cambio de paradigma**: las reglas de juego están a punto de cambiar, dicen nuestros expertos. Desde la enseñanza hasta la programación, pasando por los asistentes personales, la generación de contenidos, las búsquedas en Internet o la atención al cliente. Soluciones como **ChatGPT** pueden cambiar de una manera radical la forma en que nos comunicamos entre nosotros y la forma en que interactuamos con las máquinas, al tiempo que plantean preguntas y dilemas éticos sobre los que es muy importante reflexionar para intentar minimizar las consecuencias no intencionadas.



**Brian  
Lenahan**

 [Ver perfil](#)



## ¿En qué ámbitos se producirán las primeras innovaciones de la mano de las tecnologías cuánticas y la IA, conjuntamente?

Hay consenso entre los expertos en que algunas de las primeras realidades se están produciendo en el **diseño de algoritmos de encriptación** capaces cuando los computadores cuánticos resistentes a fallos sean una realidad. Y, además, en el **uso de la IA para acelerar los procesos científicos** que llevan a nuevas constataciones físicas de cómo deben comportarse los ordenadores cuánticos, y los que llevan a investigar nuevas formas de medir, lo que trae como consecuencia nuevos sensores (*quantum sensors*).

A medio y largo plazo, irrumpirán en todos los ámbitos: desde la medicina a la logística, pasando por el diseño de nuevas moléculas y materiales, las finanzas, la educación, el transporte o la exploración del espacio. De hecho, un 48% de los líderes de TI encuestados en el estudio *2022 Quantum Readiness Survey* de EY creen que la **computación cuántica desempeñará un papel importante en sus sectores en 2025**.

El mayor reto de la industria es **entender qué es Quantum Computing** y cómo, combinado con la IA, puede afectar a todos sus procesos -tanto en positivo como en negativo-, **distinguiendo las promesas exageradas de las realidades potenciales con fundamento**. El presente informe pretende dar respuesta a este reto: analizando los ámbitos que se verán ampliamente influenciados por la revolución de Quantum e IA, podremos estar preparados para sacar el mejor partido posible a las oportunidades que, seguro, se van a presentar.

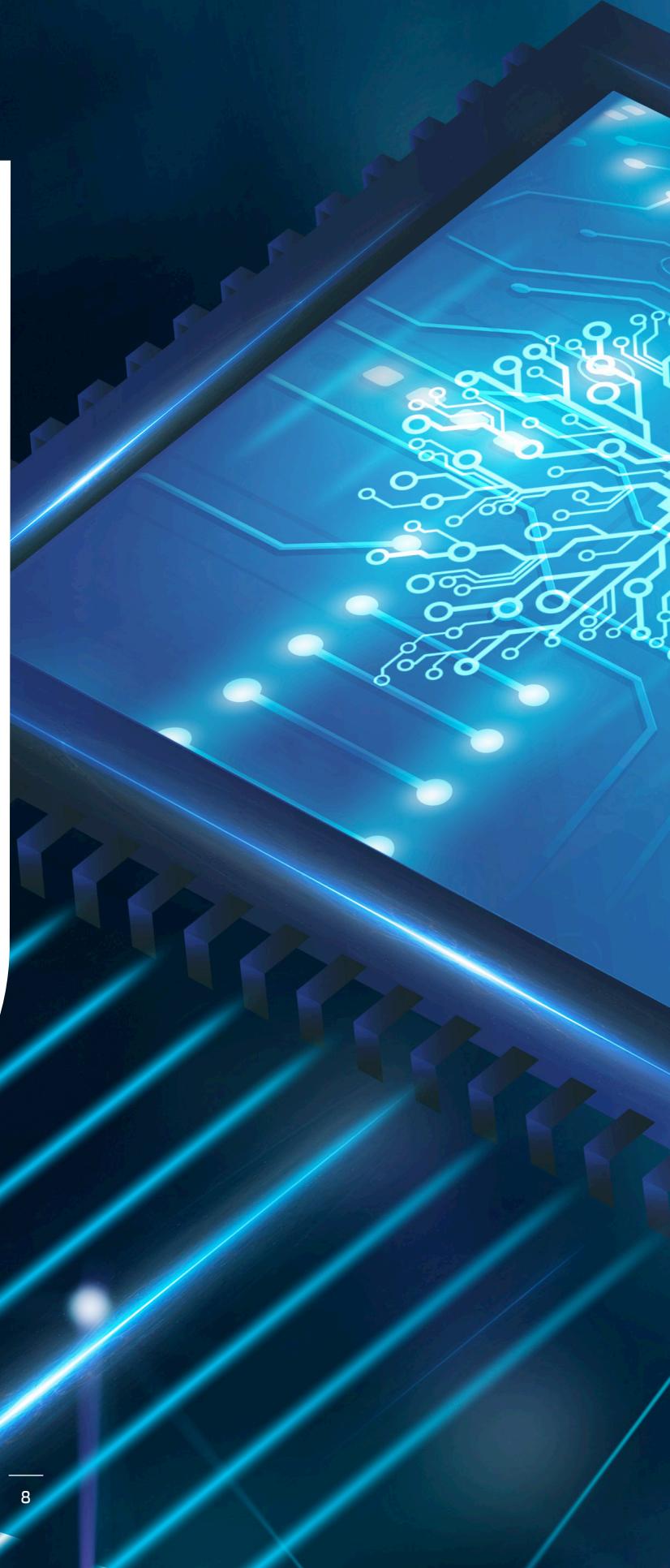
Este informe recoge las claves para sumarse a la revolución Quantum + IA:

- El **estado del arte** en estos dos campos y cómo se combinan y potencian.
- El **futuro** a corto y medio plazo, presentando **los retos y las oportunidades** de los actores implicados -*startups*, industria, administración pública, educación- y, en general, de la sociedad.
- Las nuevas necesidades de **formación** y los **perfiles profesionales** que se van a requerir.
- Las **implicaciones éticas** de las tecnologías cuánticas y la inteligencia artificial, y la necesidad de un **marco regulatorio** que permita combatir desde los sesgos hasta el uso inapropiado.
- Los **retos y oportunidades concretos para Europa y España** en los próximos años.
- Y por último, una serie de acciones recomendadas y predicciones de los expertos para que las empresas e instituciones estén preparadas para sacar el máximo partido a las tecnologías cuánticas y la IA avanzada.

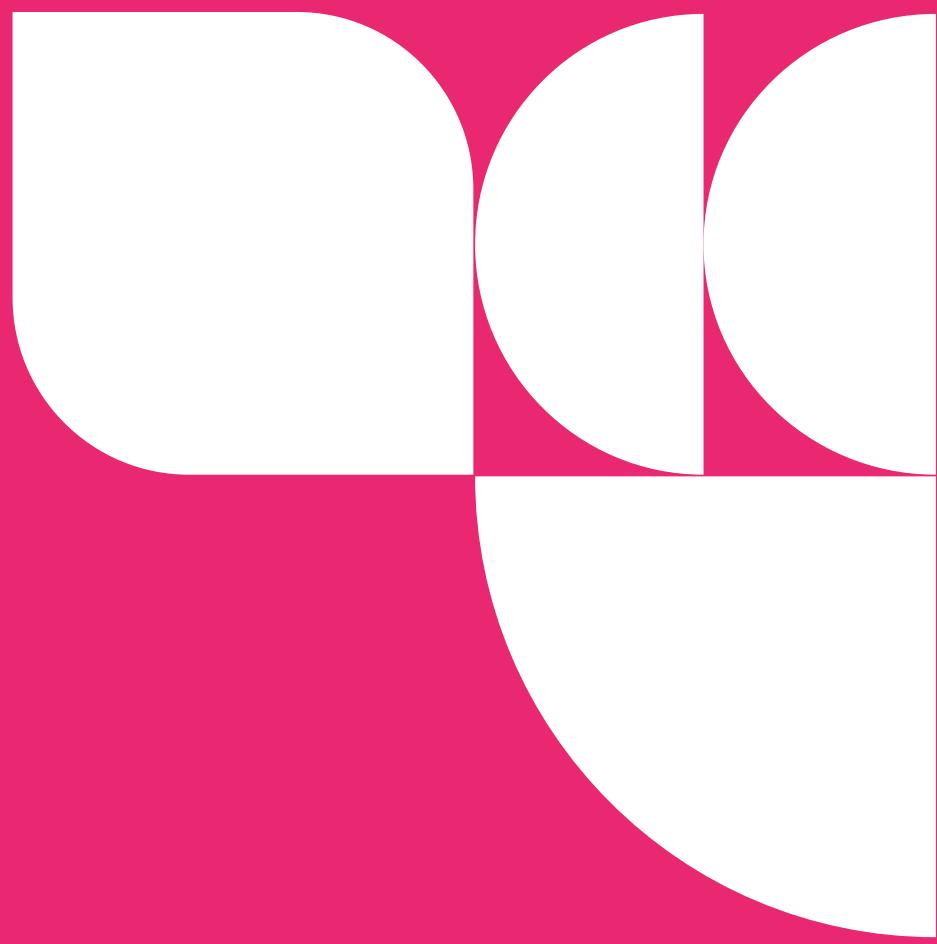


## La síntesis de ChatGPT

El informe explora la combinación de la inteligencia artificial (IA) y las tecnologías cuánticas y su impacto en campos como la medicina, la industria y las ciencias fundamentales. Las tecnologías cuánticas incluyen la computación cuántica, la comunicación cuántica, la medición cuántica y la criptografía cuántica. La IA avanzada puede procesar grandes cantidades de datos y adaptarse a nuevas situaciones mediante el aprendizaje automático. La combinación de ambas tecnologías puede tener un impacto significativo en la resolución de problemas complejos y en la creación de nuevos enfoques científicos y algoritmos. Algunos de los primeros avances están ocurriendo en la encriptación de algoritmos y en el uso de la IA para acelerar los procesos científicos. La industria debe comprender las posibilidades y riesgos de estas tecnologías para sacarles el máximo provecho.



2



# Tecnologías cuánticas

## 2

# Tecnologías cuánticas

Las **tecnologías cuánticas** se basan en el **comportamiento de la materia y la energía a nivel cuántico**, esto es, a nivel atómico y subatómico. Los avances en el control y manipulación de átomos y fotones a nivel individual constituyen uno de los logros más destacados de la física cuántica en los últimos años. Estos avances han permitido a los científicos desarrollar una serie de tecnologías cuánticas muy prometedoras, como comunicación cuántica (la cual utiliza la teleportación cuántica), sensoria cuántica y computación cuántica.

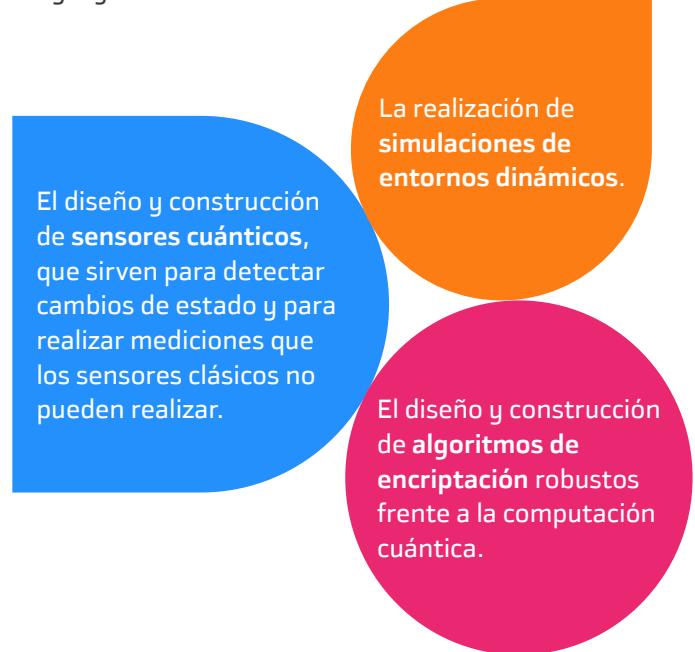
El elemento de información básico en un sistema cuántico es el **qubit**, y puede tomar cualquier valor en un continuo de estados cuánticos. A diferencia de un bit, que es la unidad de información básica en la informática clásica y puede tener dos estados (cero o uno), un qubit puede estar en una combinación lineal de ambos estados al mismo tiempo (superposición cuántica).

Los qubits permiten el procesamiento de información de manera diferente que en la informática clásica, lo que permite resolver de una manera más eficiente algunos tipos de problemas. Al permitir almacenar muchísimos más estados por unidad de información, pueden operar con **algoritmos mucho más eficientes a nivel numérico**. Sin embargo, son muy sensibles y **su estado puede ser alterado por la simple observación**, lo que plantea desafíos en su uso y aplicación práctica.

## Estado del arte de las tecnologías cuánticas

Esa misma propiedad de ser alterados, ha hecho avanzar mucho las **comunicaciones cuánticas seguras**.

Además, la ciencia cuántica está realizando avances muy significativos en:



Respecto a este último ámbito, se prevé que la computación cuántica pueda desencriptar los actuales algoritmos de encriptación, y se trabaja en dos tipos de soluciones: a corto y medio plazo, en la denominada **criptografía post cuántica**, creando nuevos algoritmos que sean resistentes a ordenadores cuánticos en el futuro. A largo plazo, en la **distribución de claves cuánticas** (**QKD - Quantum Key Distribution**), método de comunicación seguro que implementa un protocolo criptográfico que involucra componentes de la mecánica cuántica. Permite que dos partes produzcan una clave secreta aleatoria compartida que solo ellos conocen, que luego se puede usar para cifrar y descifrar mensajes.

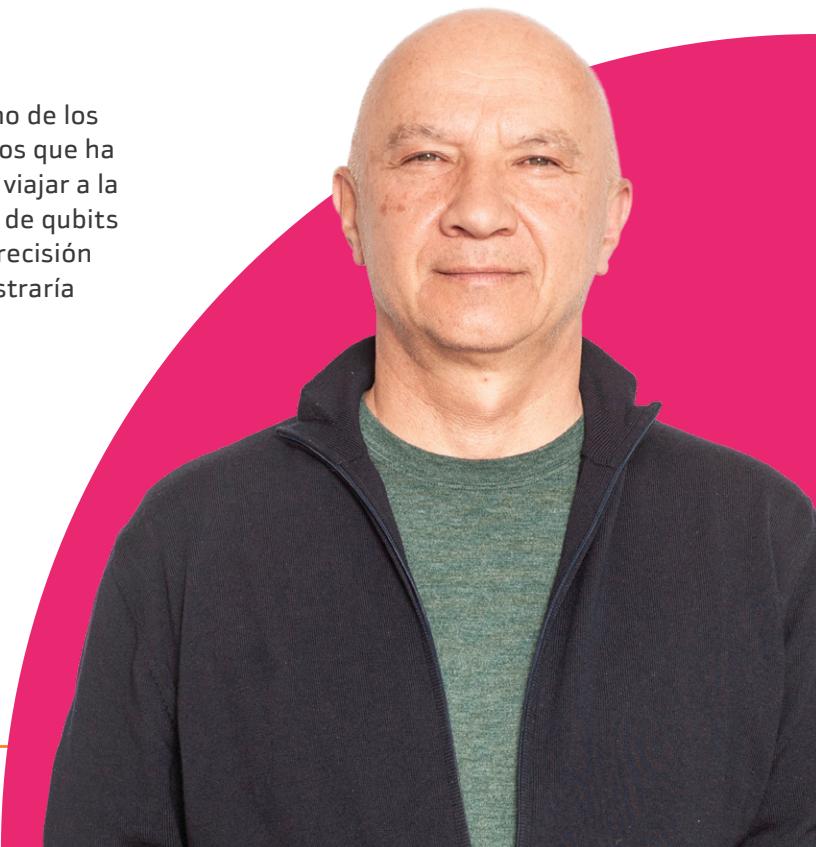
**Artur Ekert**, catedrático de física cuántica en la Universidad de Oxford y Director fundador de CQT Singapur, apunta la **importancia de los descubrimientos científicos y las demostraciones físicas, como base para el progreso de las tecnologías cuánticas**. Lo ilustra con el **Premio Nobel de Física de este año**, que ha sido concedido a John F. Clauser, Alain Aspect y Anton Zeilinger por "experimentos con fotones entrelazados, establecer la violación de las desigualdades de Bell y ser pioneros en la ciencia de la información cuántica".

Para Ekert, la computación cuántica es uno de los experimentos más complejos y sofisticados que ha producido la humanidad, más incluso que viajar a la Luna. Se persigue tener cientos y cientos de qubits trabajando juntos, controlados con una precisión asombrosa. Si se consigue esto, se demostraría

que la teoría cuántica es correcta y representa una buena descripción de la naturaleza. Si no se consiguiese, sería aún mejor desde el punto de vista del científico, porque abre las puertas a realizar teorías aún más precisas sobre el funcionamiento de la naturaleza, y a experimentar con ellas para llegar a la computación post-cuántica. En definitiva, y dado que la representación de la información es física, **los avances en las teorías físicas siempre nos llevarán a avances en la computación, que hoy no imaginamos**. La clave del éxito en este campo, dice el Prof. Ekert, es innovar. Tanto en la ciencia como en la experimentación y construcción de soluciones: **si innovas y aportas nuevas ideas y soluciones que los demás no tengan, tendrás una ventaja competitiva que no se podrá reproducir sin un enorme esfuerzo**.

## Artur Ekert

 Ver video

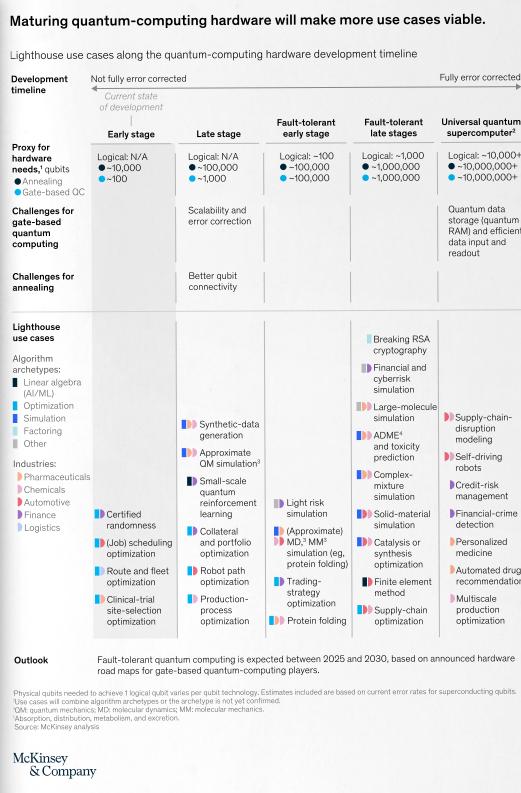




Respecto a las tecnologías de base que se utilizan, existen muchos sistemas cuánticos en el mundo y muchos enfoques para construir soluciones cuánticas, como explica **Stefanie Barz**, Catedrática de la Universidad de Stuttgart y Directora del Centro de Ciencia y Tecnología Cuánticas Integradas (IQST). Actualmente conviven diferentes enfoques, en función de sobre qué elementos físicos se desarrollan:

**Quantum Computing** puede estar basado en **átomos**, en **fotones**, en **superconductividad**, o en los **defectos en materiales cristalinos** -como diamantes-, para crear y controlar qubits. Cada una de estas tecnologías tiene sus propias fortalezas y debilidades, y todas ellas se están desarrollando rápidamente y en paralelo. Hoy en día, los expertos no se pronuncian sobre cuál de ellas acabará imponiéndose o si convivirán, dado que es un campo en constante evolución y es probable que incluso surjan nuevas tecnologías de base en el futuro.

## Ignacio Cirac

[Ver perfil](#)

Para que la computación cuántica sea realmente ventajosa de manera generalizada, los expertos consideran que aún faltan alrededor de 10 años. El problema fundamental es el número de errores, que deben reducirse varios órdenes de magnitud, apunta **Ignacio Cirac**, Director del **Instituto Max Planck de Óptica Cuántica** y miembro científico de la Sociedad Max Planck.

Aún así, y desde el estado del arte actual, Cirac se muestra optimista y piensa que **surgirán aplicaciones que nadie está hoy contemplado**.





De la misma manera, en **comunicaciones cuánticas**, donde se utilizan principios de la mecánica cuántica para transmitir información de un lugar a otro de manera segura, las tecnologías más avanzadas pueden ser **por fibra óptica, por satélite, por línea de visión o móvil**.

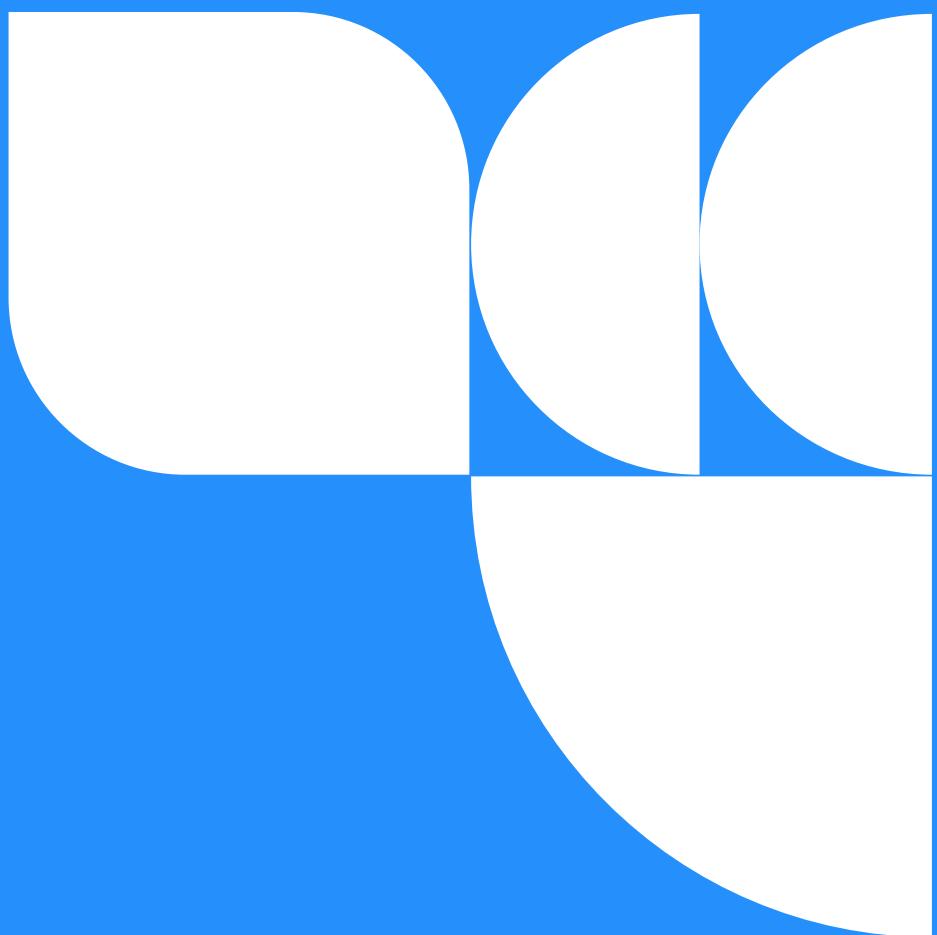
Por último, en **mediciones cuánticas o quantum sensing**, donde se utilizan principios de la mecánica cuántica para medir magnitudes físicas con alta precisión, entre las tecnologías más avanzadas se encuentran sensores cuánticos de **posición y velocidad, de campo electromagnético, de temperatura y de presión**.

Al igual que en la computación cuántica y en las comunicaciones cuánticas, cada una de estas tecnologías tiene sus propias fortalezas y debilidades y es probable que surjan nuevas tecnologías en el futuro. En este caso, la fortaleza de todas ellas es común: la **alta precisión** frente a las soluciones existentes. La debilidad de todas ellas es que son extremadamente **difíciles de implementar y requieren condiciones especiales** para funcionar de manera óptima.

## La síntesis de ChatGPT

Las tecnologías cuánticas se basan en el comportamiento de la materia y la energía a nivel atómico y subatómico. Los avances recientes en la manipulación de átomos y fotones a nivel individual han llevado al desarrollo de tecnologías cuánticas como la comunicación cuántica, la sensoria cuántica y la computación cuántica. Los qubits son la unidad de información básica en un sistema cuántico, y permiten el procesamiento de información de manera diferente a la informática clásica. Además, las tecnologías cuánticas están avanzando en la realización de simulaciones dinámicas, la construcción de sensores cuánticos y la encriptación cuántica. El progreso en las teorías físicas y la experimentación de nuevas soluciones son clave para el avance en este campo.

3



Inteligencia  
Artificial  
avanzada



3

# Inteligencia Artificial avanzada

El artífice de la revolución silenciosa es la combinación y retroalimentación entre las tecnologías cuánticas y la inteligencia artificial.

Quantum e IA se potencian mutuamente, explica Stefanie Barz: **Quantum Computing puede acelerar la IA, permitiendo algoritmos más rápidos y eficientes.** Y también, la IA puede acelerar el diseño de nuevo hardware y software Quantum.

**"La combinación de Quantum Computing e IA llevará a tener potencias de cálculo 100 veces mayores que las actuales en 10 años y 10.000 veces mayores en 20 años".**

**Calum Chace**

¿Qué es lo más avanzado en inteligencia artificial? ¿Hacia qué tipos de soluciones de IA vamos? ¿Cómo se combina con las tecnologías cuánticas? **Calum Chace**, experto mundial sobre Inteligencia Artificial y su impacto en todos nosotros, ofrece una panorámica general sobre el tema:

Tras la irrupción del **aprendizaje automático** hace ya una década, el siguiente hito ha sido el de los **modelos de transformadores**: un tipo de arquitectura de red neuronal introducida en 2017 por investigadores de Google. Se utilizan para diversas tareas de procesamiento del lenguaje natural, como la traducción de idiomas y el resumen de textos.

El siguiente hito, cuenta con apenas un año en el mercado y es la **IA generativa**, que se refiere a **los sistemas de Inteligencia Artificial que pueden generar nuevos contenidos basados en alguna entrada**. Esto puede incluir la generación de texto, imágenes, código o incluso música. Estos sistemas suelen utilizar varios tipos de aprendizaje automático (supervisado, no supervisado, por refuerzo) para aprender de un gran conjunto de datos y luego generar contenido nuevo y original.

Y la evolución de este tipo de sistemas es imparable. A modo de ejemplo, Calum Chace nos cuenta que el generador de texto **GPT-3 de OpenAI** cuenta con 175 mil millones de parámetros y su sucesor, **GPT-4**, multiplicará esta cifra por más de 500, hasta los 100 billones de parámetros.



Las tendencias más interesantes en IA, de acuerdo a este experto, son:

**La combinación de Quantum Computing e IA llevará a tener potencias de cálculo 100 veces mayores que las actuales en 10 años y 10.000 veces mayores en 20 años**, contradiciendo a aquellos que defienden que la ley de Moore está muerta. Al contrario, el crecimiento será exponencial en lugar de lineal.

En 10 años, será habitual el uso de "smart glasses" que sustituirán a los "smart phones" y tendrán capacidades de realidad aumentada y serán asistentes personales capaces de resolver un gran número de peticiones.

Al mismo tiempo, se generalizará el uso de **vehículos autónomos** y de **robots** de propósito cada vez más general.

Además, se avanza en la concepción del **Metaverso** que, junto con la **realidad virtual y aumentada**, traerá nuevos **modelos sociales, económicos y financieros**.

Por último, se producirán **avances espectaculares en la atención y la asistencia sanitaria**, con el descubrimiento de **nuevos medicamentos** gracias a la IA y la **computación cuántica** y nuevas formas de entender e interactuar con el cuerpo humano y, en particular, con el cerebro, mediante **interfaces cerebro-ordenador (BCI - Brain-Computer Interface)** basadas en computación cuántica e IA.



**Calum Chace**

 [Ver perfil](#)

## Aprendizaje automático cuántico y BCIs

El **aprendizaje automático cuántico** consiste en **utilizar dispositivos cuánticos para realizar cálculos de aprendizaje automático más eficientes**. Algunos expertos, también utilizan el término cuando se trata de **utilizar el aprendizaje automático para controlar mejor los sistemas cuánticos** -optimizar las puertas cuánticas, controlar los estados, o para calcular mejor las fases cuánticas de la materia-. Es decir, cuando se utiliza aprendizaje automático para simular sistemas cuánticos de forma más eficiente.

Bajo la primer acepción, hay muchas esperanzas en que el **algoritmo HHL** (para la resolución de sistemas de ecuaciones lineales) tenga una ganancia exponencial en un ordenador cuántico en comparación con los dispositivos clásicos, pero aún hay grandes desafíos en este campo, como cargar grandes cantidades de datos en ordenadores cuánticos y desarrollar ordenadores cuánticos suficientemente grandes para algoritmos como el HHL, que requieren millones de qubits -no olvidemos que hoy estamos en los cientos de qubits-. Así lo dice **Lucas Lamata**, Profesor Titular de la Universidad de Sevilla, y experto en inteligencia artificial cuántica y aprendizaje automático cuántico. Para el Prof. Lamata es esencial que los ordenadores cuánticos actuales, denominados NISQ (*Noisy Intermediate-Scale Quantum*), logren resolver problemas útiles para la industria y la sociedad, ya que esto impulsaría el crecimiento del campo de las tecnologías cuánticas. En este ámbito, se trabaja en la computación cuántica neuromórfica - se basa en la simulación de redes neuronales biológicas para crear sistemas de aprendizaje automático-, que podría ayudar al desarrollo de sistemas de inteligencia artificial más avanzados, como redes neuronales cuánticas y algoritmos de aprendizaje automático cuánticos. También se espera que esta tecnología tenga aplicaciones en áreas como la simulación molecular y la optimización de algoritmos.

Los sistemas de aprendizaje automático cuántico también se están explorando para las **interfaces cerebro-ordenador** (BCIs), sistemas que establecen una comunicación directa entre el cerebro y un ordenador. La actividad eléctrica, producida cuando las neuronas se disparan para comunicarse entre sí, se procesa y decodifica hacia un dispositivo electrónico para llevar a cabo una acción deseada. Estas acciones cubren desde **rehabilitación de funciones perdidas** hasta el **aumento de nuestras capacidades** o el **control domótico**.

La **combinación de computación cuántica y de sensores cuánticos con la IA**, supone un punto de inflexión en la creación de BCIs, que acelerará las innovaciones de manera exponencial. Así dice **Javier Mínguez**, Cofundador y Director Científico de **Bitbrain**.

## Lucas Lamata

 [Ver perfil](#)





## Javier Minguez

[Ver perfil](#)

### Inteligencia artificial generativa

Los **modelos fundamentales de IA** incluyen redes neuronales, sistemas expertos y algoritmos de aprendizaje automático. Se utilizan para construir sistemas de Inteligencia Artificial que pueden realizar tareas específicas, como reconocimiento de patrones, procesamiento del lenguaje natural y toma de decisiones. Funcionan con un **pre entrenamiento con grandes cantidades de datos** mediante **autosupervisión**. Este pre entrenamiento se hace una sola vez y luego se adapta y transfiera a muchas tareas, en función del resultado deseado.

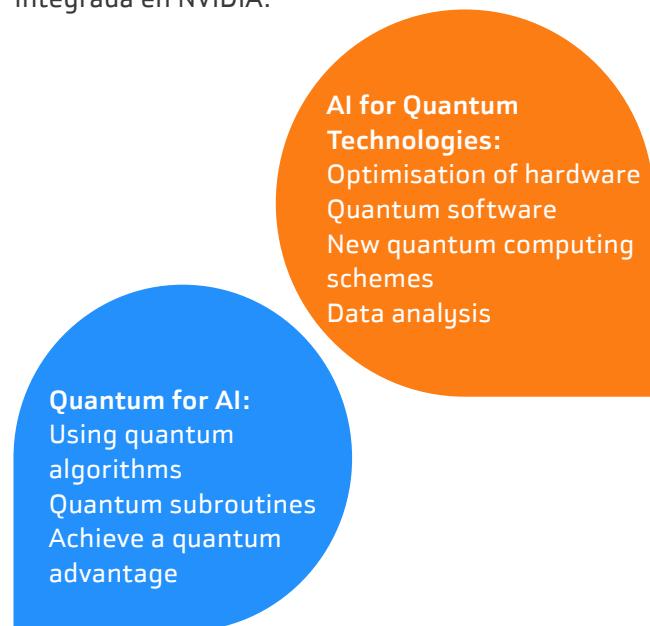
Para realizar la autosupervisión se emplean diferentes métodos, como por ejemplo el modelado de lenguaje enmascarado, que consiste en enmascarar aleatoriamente los elementos de una frase y que el sistema realice la predicción del token que falta. Lo explica [Iryna Gurevych](#), Profesora de la Universidad Técnica de Darmstadt y creadora y Directora del Laboratorio de Procesamiento Ubícuo del Conocimiento ([UKP Lab](#)).

Dentro de la IA avanzada, se encuentra la **IA generativa**, que se enfoca en crear sistemas que pueden generar contenido nuevo y original. Estos sistemas utilizan técnicas de aprendizaje automático para analizar grandes cantidades de datos y aprender a generar contenido que imita la forma en que ese contenido es creado por las personas. En resumen, la **IA generativa es una tecnología emergente que tiene el potencial de revolucionar la forma en que se crea y se accede al contenido en el futuro**.

A modo de ilustración, dentro de los modelos más avanzados, está GPT-3, ahora embebido en [ChatGPT](#), un modelo de **generación de texto** que interactúa de forma conversacional. Respecto a la **generación de imágenes originales** mediante IA generativa, se encuentran, por ejemplo [DALL-E 2](#), [Stable Diffusion](#) o [Midjourney](#), capaces de crear imágenes, a partir de una descripción en lenguaje natural.

Los mayores retos a los que se enfrenta la IA generativa son el **elevado coste de creación de los modelos** y la **gran necesidad de capacidad de cómputo**. Según Iryna Gurevych, la IA cuántica podría aliviar sustancialmente los problemas existentes en términos de eficiencia.

Además de la IA generativa, existe un **enorme potencial de nuevas herramientas de IA para desarrollar tecnologías cuánticas**, por ejemplo, cuando se introduce IA en soluciones de **gemelos digitales** de sistemas cuánticos -representación virtual de un sistema físico o proceso, que se utiliza para simular y analizar el comportamiento y el rendimiento de dicho sistema o proceso-. Un ejemplo es el desarrollo de nuevas **herramientas gráficas para diseñar circuitos cuánticos** como las desarrolladas por el experto del Future Trends Forum [Asier Arranz](#), responsable de Robótica e IA integrada en NVIDIA.



Fuente: Ponencia de Stefanie Barz en el FUTURE TRENDS FORUM



**Assier  
Arranz**



**“Quantum e IA se potencian mutuamente: Quantum Computing puede acelerar la IA, permitiendo algoritmos más rápidos y eficientes. También, la IA puede acelerar el diseño de nuevo hardware y software Quantum”.**

**Stefanie  
Barz**



Ver perfil



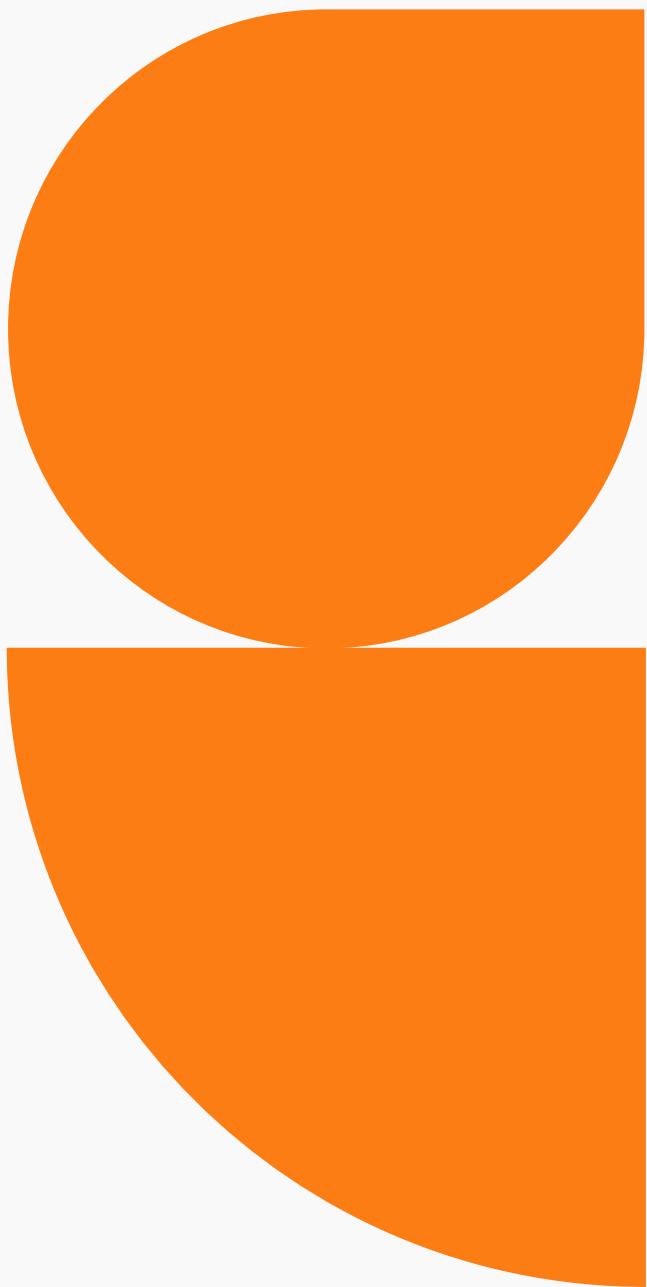
## Iryna Gurevych

[Ver perfil](#)

### La síntesis de ChatGPT

Este capítulo habla sobre los avances en inteligencia artificial (IA) y su combinación con tecnologías cuánticas, lo que llevará a un aumento exponencial de la potencia de cálculo en el futuro. Se mencionan los hitos más recientes en la IA, como el aprendizaje automático y los modelos de transformadores, así como el desarrollo de la IA generativa, que permite la creación de contenido nuevo y original. También se mencionan las tendencias más interesantes en IA, incluyendo la combinación de IA y computación cuántica, el uso de "smart glasses", vehículos autónomos y robots, el Metaverso y los avances en la atención médica y en interfaces cerebro-ordenador (BCI). En este capítulo también discute el aprendizaje automático cuántico y los desafíos que enfrenta en la actualidad.

4



# Oportunidades y retos de las tecnologías cuánticas + IA



4

# Oportunidades y retos de las tecnologías cuánticas + IA

Las grandes oportunidades de negocio se presentarán fundamentalmente en dos áreas, de acuerdo al profesor **José Ignacio Latorre**, Director del Centro de Tecnologías Cuánticas de Singapur y CRO (Chief Researcher Officer) del Instituto de Innovación Tecnológica de Abu Dhabi

- el diseño y desarrollo de los **componentes físicos** (hardware) necesarios para crear ordenadores cuánticos y sistemas de sensores cuánticos.
- el diseño y desarrollo de **algoritmos cuánticos**. Especialmente en las siguientes industrias:



**José Ignacio Latorre**

 Ver perfil

1.

## Finanzas

Por ejemplo, evolucionando el **método de Montecarlo** con circuitos cuánticos y para nuevas soluciones de gestión del riesgo.

2.

## Química

Para el análisis de moléculas y diseño de nuevos materiales



3.

## Optimización

Aplicado a logística, cadenas de valor, hidrodinámica, etc.

4.

## Inteligencia Artificial

Para el desarrollo de soluciones de aprendizaje automático cuántico.

5.

## Ciberseguridad

Implementando algoritmos de criptografía post cuántica.



Respecto a los **grandes retos de las tecnologías cuánticas**, el profesor Latorre apunta:

# 01

**Retos científicos:** especialmente, se trata de resolver la coherencia de los resultados, que se ve comprometida por el entorno físico. Además, crear algoritmos para casos de uso reales y útiles e ir avanzando en el nivel de madurez, pasando del prototipado a sistemas de producción.

# 02

**Retos públicos:** los gobiernos tendrían que agilizar los trámites burocráticos por un lado y apostar por líneas de inversión potentes en tecnologías cuánticas, potenciando a la industria.

# 03

**Retos de la industria:** El principal, como apuntábamos al principio de este resumen, es entender las bases de las tecnologías cuánticas y su potencial de aplicación. Adicionalmente, se enfrenta al reto de adquirir y retener talento especialista, capaz de determinar dónde y cómo invertir.

Además, la computación cuántica está **inspirando nuevos algoritmos** que pueden funcionar en computadores clásicos de manera más óptima que los actuales.

Una manera de enfrentar los retos mencionados es, tal y como indica **Brian Lenahan**, fundador y presidente del **Quantum Strategy Institute**, por un lado, trabajar en entornos híbridos donde convivan la computación cuántica y la computación tradicional, mediante soluciones de **cloud computing**. Por otro lado, enseñar a los profesionales, en todos los niveles de una organización, a tener una actitud de curiosidad cuántica. Es decir, promover el pensamiento "*quantum inspired*", planteándose la pregunta:

## ¿Cómo se abordaría este problema desde una lógica cuántica?



## Aplicaciones disruptivas en el mundo real

### Computación cuántica basada en fotones

Dentro de la computación cuántica, una de las ramas más prometedoras es la que se basa en fotones, o partículas de luz, para representar y manipular la información. La computación cuántica basada en fotones es potencialmente más eficiente que otras formas de computación cuántica en ciertas tareas como las comunicaciones.

Así lo explica **Stefanie Barz**. Además, apunta que la utilización de fotones en lugar de otros sistemas cuánticos, como átomos o iones, puede permitir una mayor escalabilidad y facilidad de implementación en la práctica.

Aunque queda mucho desarrollo por delante, se han realizado ya experimentos con máquinas cuánticas de 76 fotones y, hace pocos meses, se realizó un experimento con una **máquina con 219 fotones que, para un caso muy específico, demostró supremacía cuántica**.

Un ejemplo de cómo se está tratando de llevar la computación cuántica fotónica al mundo real es el consorcio **PhotonQ**, del que Stefanie es la coordinadora científica principal.



### Cloud Computing como catalizador de Quantum Computing

Existen grandes disruptiones que están a punto de ver la luz, gracias a la **simbiosis entre Quantum Computing, Inteligencia Artificial y Cloud Computing**. Así lo afirma **Alessandro Curioni**, Vicepresidente para Europa y África de IBM y Director del IBM Research Zurich.

La combinación de Cloud Computing, Quantum Computing e Inteligencia Artificial puede tener un impacto significativo en la capacidad de procesamiento y la eficiencia en la toma de decisiones. Y el primer ámbito que ya está impactando es el científico. Según este experto, está cambiando y acelerándose la forma en que hacemos ciencia. **Coincidiendo con Darío Gil**, Director del IBM Research a nivel mundial, la aceleración del método científico está siendo ya una realidad, utilizando la Inteligencia Artificial para detectar discrepancias y la computación cuántica para resolverlas. Por ejemplo, aplicado en la **investigación y descubrimiento de nuevos materiales**.

Según la hoja de ruta de IBM, de aquí a 5 años, podríamos tener **computadoras cuánticas de 4.000 qubits**, con coherencia y un número de errores asumible. Estas computadoras cuánticas harán tareas específicas para las que funcionan muy bien y se combinarán, gracias a los recursos de Cloud Computing, con los superordenadores tradicionales, que son muy eficaces para otras cosas. En ese momento, asegura Alessandro, se podrán enfrentar los grandes problemas de la humanidad de una manera muchísimo más acertada.

## Alessandro Curioni

 Ver perfil



## Sensórica cuántica en acción

Se están produciendo avances significativos en **sensores cuánticos**, aplicados al sector de la defensa y de la navegación. Entre otros, el **radar cuántico**: método de detección a distancia basado en el entrelazamiento cuántico.

También destacan los avances que se están produciendo en **Salud**, con dispositivos cuánticos capaces de medir campos magnéticos del ser humano y que están empezando a utilizarse para la detección temprana de tumores.

Otro ámbito de aplicación que apunta **Esperanza Cuenca**, responsable de Estrategia y Divulgación en **Multiverse Computing**, es en la **detección de pozos de petróleo mediante la gravimetría cuántica**.

El mayor reto que apuntan los expertos, además de los ya enumerados anteriormente, es pasar de los entornos experimentales y de demostración a entornos reales, con soluciones escalables y robustas. Y, en paralelo, trabajar en el ámbito normativo y regulatorio para que las soluciones cuánticas no aumenten las desigualdades ni sean utilizadas con falta de ética.



**Esperanza  
Cuenca**



Ver perfil

**El mayor reto de las tecnologías cuánticas es pasar de entornos experimentales a entornos reales con soluciones robustas y escalables.**

## La síntesis de ChatGPT

Este apartado trata sobre las oportunidades y retos que presentan las tecnologías cuánticas y la inteligencia artificial (IA). Se destacan las oportunidades de negocio en el diseño y desarrollo de componentes físicos para crear ordenadores y sistemas de sensores cuánticos, y en la creación de algoritmos cuánticos para finanzas, química, optimización, IA y ciberseguridad. Los principales retos son científicos, gubernamentales e industriales. También se menciona la combinación de las tecnologías cuánticas y la IA como una gran ayuda para resolver problemas específicos. Por último, se presenta la computación cuántica basada en fotones como una de las ramas más prometedoras debido a su potencial eficiencia y facilidad de implementación en la práctica.

## Sectores clave para aplicaciones de alto impacto y futuro

### Industria

Será clave el desarrollo de **sensores cuánticos** capaces de realizar mediciones de muy alta precisión, que optimizarán los procesos de fabricación. Además, las industrias de Transporte y Automóvil aportarán las soluciones más innovadoras, según **Thierry Botter**, Director Ejecutivo del **Consorcio Europeo de la Industria Cuántica (QuIC)** y socio inversor en **Quantonation**, el primer fondo europeo de capital riesgo dedicado a las tecnologías cuánticas.



### Thierry Botter

 [Ver perfil](#)

### Antonio Abad

 [Ver perfil](#)



### Telecomunicaciones

Se está avanzando mucho en la **distribución de claves cuánticas (QKD - Quantum Key Distribution)**. Por ejemplo, **Hispasat**, en colaboración con el **Centro Criptográfico Nacional** ha registrado una patente para conectar dos ordenadores cuánticos utilizando un satélite geoestacionario, mediante fotones entrelazados. Esta iniciativa forma parte del programa **Caramuel**, la primera misión satelital de órbita geoestacionaria a nivel mundial orientada a la distribución de claves cuánticas, expone **Antonio Abad**, Director Técnico de **HISPASAT**.



## Finanzas

Las entidades más punteras apuestan por Quantum Computing para resolver problemas de simulación, aprendizaje automático y optimización, para crear nuevos **modelos financieros** de calificación crediticia, riesgo, optimización de carteras - aunque la computación cuántica no puede resolver por completo este reto, puede ser capaz de identificar carteras más óptimas que los optimizadores convencionales existentes; también podrá hacerlo más rápidamente, permitiendo actualizaciones de cartera mucho más frecuentes, como apunta **Esperanza Cuenca**-, análisis de créditos y detección de fraude.

Además, y de manera transversal, las entidades financieras trabajan en **comunicaciones seguras con criptografía cuántica**, como apunta **Sergio Gago**, Director General de Quantum Computing -en Moody's. Para profundizar en las aplicaciones cuánticas en las entidades financieras, se recomienda el documento **A Survey of Quantum Computing for Finance**.

## Sostenibilidad y riesgo climático

Existe una enorme oportunidad de negocio alrededor de las tecnologías cuánticas y la IA, a través del **Pacto Verde Europeo** y de los fondos **Next Generation**. La clave será que las nuevas soluciones tecnológicas tengan un propósito de **triple sostenibilidad: social, económica y medioambiental**, apunta **Carlos Kuchkovsky**, cofundador y CEO de **QCentroid**, compañía que ofrece una plataforma QaaS -*Quantum as a Service*.



**Carlos Kuchkovsky**

[Ver perfil](#)

## Sector farmacéutico y biotecnológico

Las soluciones Quantum Computing junto con la IA brindarán nuevas oportunidades para **entender mejor la naturaleza de las enfermedades** y para la **identificación de nuevos medicamentos**, mediante el diseño y la selección de **nuevas moléculas**, optimizando sus propiedades. Así lo expone **Gopal Karemire**.



**Gopal Karemire**

[Ver perfil](#)



**- Sergio Gago**

[Ver perfil](#)



## Nuevos modelos de negocio con Quantum Computing

Dentro de los sectores mencionados anteriormente, ya se están poniendo en marcha iniciativas muy prometedoras, con nuevos modelos de negocio surgidos alrededor de las tecnologías cuánticas y la IA.

*¿Quiénes son los actores principales en el universo Quantum Computing? ¿Quiénes liderarán el camino?*

Según los expertos asistentes al foro, **serán las grandes compañías las que lideren la adopción de tecnologías cuánticas**. El ranking que creen que existirá es como sigue →

Dicho lo cual, todos los actores involucrados deberían apoyar, mediante acuerdos e inversiones, que la I+D lidere el proceso, como apunta **Daniel Granados**, Profesor de Investigación y Director Ejecutivo del **IMDEA-Nanociencia**.

A continuación, se exponen algunas iniciativas desde las grandes compañías y desde el ecosistema de emprendedores.



**Daniel Granados**



Ver perfil



### Grandes compañías

Las grandes empresas están ya invirtiendo en investigación y desarrollo de quantum computing para buscar ser más competitivas en sectores como el financiero, el energético o el farmacéutico.

De manera general, **las corporaciones deben irse preparando**. Es lo que **Sergio Gago** denomina "estar listas para quantum" (*quantum ready*): ¿cómo? incorporando perfiles que conozcan las posibilidades de las tecnologías cuánticas, y que lideren la búsqueda de casos de negocio concretos y claros.

El acercamiento a las tecnologías cuánticas por parte de las corporaciones, es, según este experto, entendiendo que aún quedan muchos años para la **supremacía cuántica** - término que se refiere a la capacidad de una computadora cuántica para resolver problemas que son imposibles de resolver con una computadora clásica-, si es que se produce.



Y, a la vez, entendiendo que **existen oportunidades reales**.

A muy corto plazo, y coincidiendo con el profesor Latorre, existen **oportunidades alrededor de los componentes para construir el hardware necesario**. Muchas grandes empresas de ingeniería están invirtiendo en éste área y generando ya negocio. También existe un **creciente negocio de consultoría y de desarrollo de pruebas de concepto**.

Una propuesta de los expertos para que la industria esté lista, es crear **ecosistemas verticales de Quantum Computing**, que se detengan en problemas comunes a cada tipo de industria: finanzas, manufacturera, logística, etc.

Existen ya muchas grandes empresas, como Honeywell, Alibaba, JPMorgan o ExxonMobil, que han empezado a invertir en tecnología de computación cuántica y existe un movimiento incipiente para formar asociaciones desde las grandes compañías con instituciones de investigación y universidades para acceder a los últimos avances en computación cuántica.

Por su parte, los grandes proveedores de Tecnologías de la Información, como Google, IBM o Microsoft están invirtiendo en el desarrollo de ordenadores cuánticos y proporcionando acceso basado en la nube a sus recursos de computación cuántica para investigadores y empresas. Así, por ejemplo, en IBM, además de desarrollar el hardware y software necesario para Quantum Computing, están creando una **comunidad de desarrolladores y usuarios**, con los que están constantemente en contacto y realimentándose de sus sugerencias. A día de hoy, IBM tiene 26 ordenadores cuánticos, a los que se conectan más de 500.000 usuarios, entre ellos, investigadores de más de 100 universidades, tal y como expone Alessandro Curioni. Lo consiguen a través del entorno de desarrollo de código abierto Qiskit, de manera que, quien lo desee, pueda trabajar con ordenadores cuánticos a nivel de pulsos, circuitos y módulos de aplicación. Curioni apuesta por la **simbiosis entre computación tradicional y computación cuántica**, apoyada en la nube. Según este experto, igual que hoy en día existen procesadores específicos para gráficos (GPUs), que mejoran el rendimiento en el procesamiento de gráficos y tareas relacionadas con el procesamiento

de imágenes, existirán **unidades de procesamiento cuántico** diseñadas específicamente para realizar cálculos matemáticos complejos con rapidez y eficiencia. Y **estas unidades estarán en la nube, disponibles como un recurso más**.

Uno de los sectores que está más activo en las innovaciones y soluciones que pueden aportar las tecnologías cuánticas es el de las telecomunicaciones, por su potencial para proporcionar redes de comunicación altamente seguras mediante el uso de la distribución cuántica de claves (QKD) y para optimizar las redes mediante el uso de algoritmos cuánticos. Como ejemplo, Orange participa en tres acciones de colaboración europeas relacionadas con las comunicaciones cuánticas: el proyecto CiViQ (*Continuous Variable Quantum communications*), el proyecto OPENQKD (*Open European Quantum Key distribution testbed*) y el contrato de investigación QOSAC (*Quantum Overarching System Architecture Concepts*). En un futuro cercano, explorarán **casos de uso que apunten a un retorno de la inversión claro**. Así lo explica **Carmen Reina**, Directora de Cultura de Datos en Orange.

Por último, otro de los sectores donde se percibe más actividad, según los expertos, es en el financiero. Existen dos ejemplos ilustrativos de entidades financieras avanzando en Quantum Computing: **JPMorgan Chase** y **Goldman Sachs**. La primera está investigando en aprendizaje automático, criptografía, optimización de carteras y simulaciones Monte Carlo, mientras que la segunda también está investigando activamente dónde y cómo puede aplicarse Quantum Computing en finanzas, con desarrollos avanzados, por ejemplo, para la **fijación de precios de derivados complejos**.

## Carmen Reina



Ver perfil





**“En el futuro, existirán unidades de procesamiento cuántico en la nube, disponibles como un recurso más”.**

**Alessandro Curioni**

## Startups

El universo de las startups no es ajeno al fenómeno quantum + IA. Tienen la oportunidad de innovar y ofrecer soluciones específicas para determinados sectores y también pueden proporcionar acceso a estas tecnologías a través de la nube. Además, pueden desarrollar tecnologías de apoyo, como software de programación, herramientas de simulación y sistemas de refrigeración de las máquinas.

A continuación, se ilustran algunas de las iniciativas en las que están involucrados emprendedores españoles:

**SandboxAQ**, es una empresa **SaaS** que combina IA y tecnología cuántica, de origen norteamericano, que surge como spin-off de **Alphabet**. Está desarrollando tres áreas de negocio, tal y como explica **Marc Manzano**, Director de Seguridad Cuántica de esta compañía:

01

*Simulación y optimización cuántica*, que fusiona métodos computacionales basados en la Inteligencia Artificial y la cuántica para hacer predicciones y orientar las decisiones empresariales con una altísima precisión. Aplicable a gran número de sectores: descubrimiento de fármacos, desarrollo de materiales, modelización financiera, logística de la cadena de suministro, etc..

02

*Soluciones de sensórica cuántica*, que aprovecha la inestabilidad inherente a los estados cuánticos para detectar cambios mínimos en el mundo físico, como el movimiento o los campos eléctricos y magnéticos, que de otro modo serían indetectables. Combinando estas propiedades con la inteligencia artificial, SandboxAQ está desarrollando aplicaciones de detección cuántica para el sector de la salud.

03

*Soluciones de criptografía post cuántica (PQC)*, en línea con los nuevos estándares que están surgiendo en este campo.



Qilimanjaro Quantum Tech, es una startup que aprovecha su experiencia en **qubits superconductores**, diseñando **procesadores cuánticos analógicos** de próxima generación con **qubits de alta calidad**, que no requieren corrección cuántica de errores y pueden, por tanto, comercializarse más rápidamente. Víctor Canivell, cofundador de esta startup tecnológica, explica **por qué una startup puede tener éxito en el desarrollo y construcción de ordenadores cuánticos**, cuando su origen es el académico (es una spin-off de la Universidad de Barcelona, el Barcelona Supercomputing Center y el Instituto de Física de Altas Energías) y se produce una **transferencia de conocimiento desde la parte científica a la parte de negocio**.

Multiverse Computing, fundada en España en 2019, cuenta en la actualidad con más de 80 profesionales y ha pasado ya de ser una startup a ser una scaleup. Con sede en San Sebastián, cuenta con filiales en Canadá, Francia y Alemania. La empresa **desarrolla software cuántico**, con especialización en soluciones verticales, como Finanzas, Energía, Movilidad, Salud, Defensa o Aeroespacial. Dispone de una plataforma SaaS que contiene algoritmos cuánticos y de inspiración cuántica desarrollados y patentados mediante pruebas de concepto que han realizado para diversos clientes, explica **Esperanza Cuenca**.

Quside, spin-off del Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) ha desarrollado un Generador de Números Aleatorios Cuánticos (QRNG), es decir, un sistema que utiliza principios cuánticos para generar números aleatorios. Su sistema se utiliza en criptografía y otros campos donde se necesitan números aleatorios de alta calidad - en general, cualquier situación en la que sea importante generar resultados impredecibles de manera confiable, como la investigación científica, las simulaciones o los juegos, -. El futuro de esta startup se presenta brillante, según su cofundador y CEO, **Carlos Abellán**: en el transcurso del foro se anunció una ronda de Serie A liderada por Trumpf Ventures, la rama de inversiones de Trumpf, fabricante industrial líder mundial de componentes fotónicos.

QCentroid, cofundada por Carlos Kuchkovsky, actual CEO de la empresa, ofrece servicios de Quantum as a Service para organizaciones y un marketplace de HW y algoritmos cuánticos. Esto permite a organizaciones comparar y encontrar soluciones basadas en quantum que integrar en sus sistemas existentes, a través de No-Code, API y Blockchain, o usarlas para crear aplicaciones que antes serían imposibles.

**“La sensórica cuántica combinada con la Inteligencia Artificial tiene un enorme potencial para mejorar la salud de las personas”.**

**Marc Manzano**

 Ver perfil





## La síntesis de ChatGPT

El informe analiza los sectores clave para la aplicación de tecnologías cuánticas en el futuro, como la industria, finanzas, telecomunicaciones, sector farmacéutico y biotecnológico, y sostenibilidad y riesgo climático. Se mencionan algunas iniciativas prometedoras y nuevos modelos de negocio surgidos a partir de la tecnología cuántica y la IA en estos sectores. Según los expertos, las grandes compañías liderarán la adopción de tecnologías cuánticas, seguidas por los gobiernos, startups, mundo académico e inversores privados. Además, se recomienda a las corporaciones que se preparen para la supremacía cuántica incorporando perfiles que conozcan las posibilidades de las tecnologías cuánticas y lideren la búsqueda de casos de negocio concretos.

## Oportunidades y resto de Europa/España

China es el país que más probabilidades tiene de liderar la revolución de las tecnologías cuánticas, seguido muy de cerca por Estados Unidos, según una encuesta realizada entre los expertos reunidos en el foro. Expertos como Calum Chace advierten sobre el peligro de que se establezca un duopolio en tecnologías cuánticas e IA entre EE.UU. y China y aumente la brecha digital a nivel mundial.

Pero Europa no está inactiva: A día de hoy, existen iniciativas público-privadas que están conformando un nuevo ecosistema alrededor de las tecnologías cuánticas.

Europa necesita estar más unida, potenciando un ecosistema paneuropeo desde el que canalizar colaboraciones, inversiones, talento y estrategias. A nivel de talento, Europa está muy bien posicionada como generadora de talento, pero no consigue retenerlo, por falta de ofertas competitivas. Para hacernos una idea, existiendo el mismo número de startups en EE.UU. que en Europa, el nivel de inversión es 10 veces mayor en EE.UU.

**“El gran reto de España es conseguir retener y atraer al mejor talento cuántico”.**

**Marc Manzano**

Por otro lado, para que la industria cuántica europea sea más competitiva, sería necesario **facilitar las patentes de software**. En registros de Propiedad Intelectual, EE.UU. cuenta con la mitad de los mismos a nivel mundial, siendo IBM, Microsoft y Google los que más patentes han registrado en los últimos años.

A modo de ilustración, en Europa se está construyendo una **red de ordenadores cuánticos**, uno de ellos en España, a través de la *European High Performance Computing Joint Undertaking* (EuroHPC JU).

**“Europa necesita estar más unida, potenciando un ecosistema paneuropeo desde el que canalizar colaboraciones, inversiones, talento y estrategias”.**

**Thierry Botter**





Ya hemos visto que China y EE.UU. podrían llegar a crear un duopolio. **Carlos Kuchkovsky**, miembro del Consejo Global del Futuro sobre Computación Cuántica del Foro Económico Mundial y miembro del Consejo Asesor Estratégico del Programa Quantum de la Comisión Europea, expone la estrategia europea, así como los retos a resolver. Respecto a estos últimos, los más preocupantes son la falta de alineación entre la estrategia europea y las distintas estrategias de los países, cómo conectar la computación cuántica con algoritmos en sistemas de actuales de empresa de forma que se integren en sus workflows, la falta de una potente herramienta de transferencia tecnológica entre los científicos y el negocio y la falta de músculo inversor en Europa. Según este experto, entre Google y Amazon es muy probable que estén invirtiendo más recursos de los que se invierten en toda Europa.

Afrontar estos retos y aprovechar las oportunidades es lo que pretende el programa **Quantum Flagship**, del que Kuchkovsky es asesor: puesto en marcha en 2018, cuenta con un presupuesto de al menos 1.000 millones de euros y una duración de 10 años. Esta iniciativa reúne a instituciones de investigación, universidades, empresas y responsables políticos a una escala sin precedentes.

Muy recientemente, se ha dado el primer paso hacia la **definición de la primera Agenda Estratégica de Investigación e Industria de la UE**. El objetivo final de la SRIA será proporcionar una estrategia global en tecnologías cuánticas para la UE, teniendo en cuenta y fusionando todas las iniciativas industriales y de I+D en curso.

Es interesante constatar que algunos expertos señalan que **España tiene una ventana de oportunidad para liderar algunas tecnologías cuánticas**. Entre ellos, **Víctor Canivell**, que cree que en España hay muy buenos investigadores en tecnologías cuánticas y porque existen individuos que creen en ello y que están creando ecosistema, involucrando a las grandes corporaciones y haciéndose visibles en otros países. Para que el modelo de startups tecnológicas cuaje en nuestro país, se debe conseguir que más inversores apuesten por las tecnologías cuánticas y conseguir atraer y, sobre todo, retener, el talento.

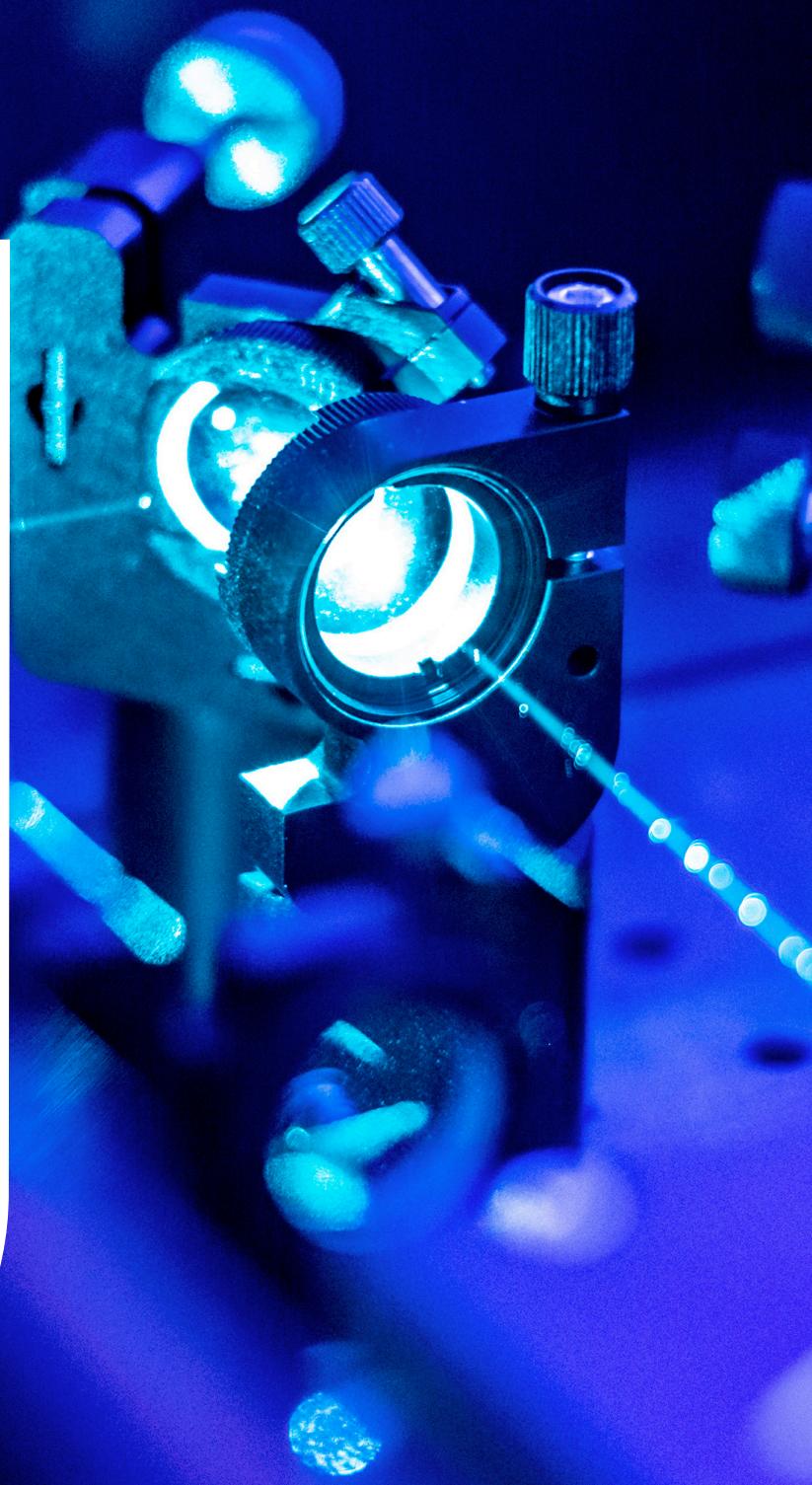
De hecho, España está liderando algunos campos de Quantum Computing con soporte de la Administración y muchas de las startups que están surgiendo están creadas por científicos muy preparados. **Ignacio Cirac** se muestra optimista en este sentido, aunque echa en falta más startups en los componentes, es decir, en el hardware, donde cree que se debería invertir desde fondos públicos.



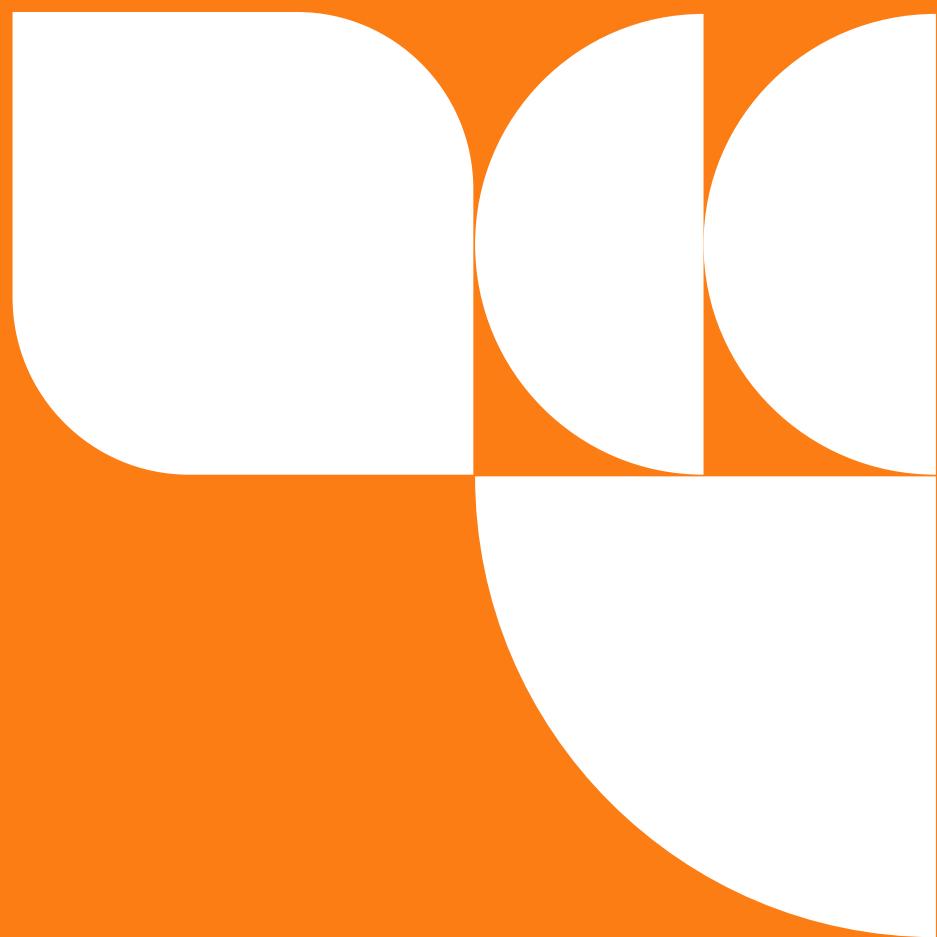


## La síntesis de ChatGPT

Según un informe sobre las oportunidades y retos de Europa/España en tecnologías cuánticas, China y Estados Unidos lideran la carrera en esta área. Europa no se queda atrás, con iniciativas público-privadas que buscan conformar un nuevo ecosistema alrededor de las tecnologías cuánticas, aunque necesita estar más unida para canalizar colaboraciones, inversiones, talento y estrategias. Uno de los retos más preocupantes es la falta de alineación entre la estrategia europea y las distintas estrategias de los países. El programa Quantum Flagship, que cuenta con un presupuesto de al menos 1.000 millones de euros y una duración de 10 años, busca afrontar estos retos y aprovechar las oportunidades. España tiene una ventana de oportunidad para liderar algunas tecnologías cuánticas, pero se necesita más inversión en el hardware y retener el talento.



5



**Ética, educación  
y adquisición  
de talento**



## 5

# Ética, educación y adquisición de talento

En este capítulo se analizan algunas de las claves para el éxito como sociedad de las tecnologías cuánticas y la IA: los aspectos éticos, las necesidades de formación y el papel de los medios de comunicación:

## Ética para quantum computing e inteligencia artificial

En general, la ética de la computación cuántica y la IA es un campo complejo y en rápida evolución que seguirá siendo un importante tema de debate a medida que la tecnología siga avanzando. Así es como piensa **Theodore Lechtermann**, Profesor de Filosofía en la IE University, que ha estado trabajando en el **Instituto para la Ética en la IA de la Universidad de Oxford**.

Constatando que **la ciencia y la tecnología están muy por delante de la ética y la gobernanza**, este experto propone que se destinen parte de las inversiones en I+D a la investigación de los campos de la ética y la gobernanza para averiguar, lo que podría funcionar y las áreas que deberían desarrollarse. Se trataría de **descubrir cómo podemos traducir las buenas intenciones en estrategias de gestión eficaces**.

Lechtermann dice que una de las principales consideraciones éticas en torno a la computación cuántica es la posibilidad de que se utilice con **fines maliciosos**. Dado que los ordenadores cuánticos son capaces de procesar grandes cantidades de datos a velocidades extremadamente altas, podrían utilizarse para **descifrar información encriptada** o para desarrollar nuevas y más potentes armas. Esto podría tener graves implicaciones para la **seguridad nacional** y la **privacidad personal**.

También explica que, cuando combinamos IA y quantum, se deben considerar una serie de peligros como son la existencia de **sesgos** -tanto en los datos como en los algoritmos-. Además, muchos de los beneficios de la IA requieren que cedamos datos de nuestra vida personal a los algoritmos, lo que pone en riesgo, de nuevo, nuestra **privacidad**.

Además del uso ilícito, de los sesgos y del peligro para la privacidad, debe resolverse también la **explicabilidad de los sistemas de quantum computing e inteligencia artificial**. Sobre todo, cuando hablamos de soluciones de computación cuántica combinada con IA, muy grandes, muy potentes y muy avanzadas con, en algunos casos, millones de parámetros. Puede resultar imposible determinar por qué se ha tomado una decisión concreta y cómo verificar si es correcta/justa. Esto plantea la cuestión de en qué condiciones debería existir la obligación de que un sistema de estas características explique cómo ha llegado a ciertos resultados.

Es necesario **abordar estas cuestiones de forma sistemática** para reflexionar sobre cuáles son realmente las mejores causas y cómo deberíamos distribuir los recursos a la hora de estudiar los diferentes usos potencialmente beneficiosos de la computación cuántica y la IA, explica Lechtermann. **Las empresas que sean capaces de liderar la ética cuántica**, demostrando que son dignas de confianza por parte de sus **stakeholders**, **tendrán una enorme ventaja competitiva en un negocio tan incipiente** y, a la vez, con tanto potencial, concluye este experto.



## Educación y adquisición de talento

Respecto a la **educación y la atracción y retención del talento**, ¿qué planes están ya en marcha y qué estrategias deberían definirse para tener una **fuerza laboral formada en el ámbito de las tecnologías cuánticas y la IA**?

Los perfiles necesarios son tanto científicos como de negocio que entiendan las implicaciones de estas tecnologías. A día de hoy existe poca formación específica y los expertos coinciden en que son materias que deben introducirse en los programas formativos desde la infancia.

Destaca el programa educativo lanzado por el gobierno de EE.UU.: el **Plan Estratégico Nacional para el Desarrollo de la Mano de Obra en Ciencia y Tecnología de la Información Cuántica**. El plan recomienda una serie de acciones y oportunidades comunitarias para aumentar la mano de obra especializada en Ciencias y Tecnologías Cuánticas (QIST- *Quantum Information Science and Technology*) mediante la **ampliación de la formación y la educación a todos los niveles**, según expone **Ángel Cabrera**, Presidente del Georgia Institute of Technology y patrono de la Fundación

Innovación Bankinter. El programa subraya la importancia de seguir recopilando datos sobre las necesidades de mano de obra en la industria, el mundo académico y las administraciones públicas, y de **desarrollar oportunidades de aprendizaje a largo plazo para expandir y ampliar la reserva de talento**.

El perfil profesional especializado en una industria determinada que además cuente con una formación cuántica, será fundamental en el futuro, pues hará de **enlace entre el negocio y la tecnología**, generando nuevas soluciones específicas. Así piensa **Araceli Venegas-Gómez**, fundadora y Directora General de **Qureca**, quien constata la escasez de profesionales formados en tecnologías cuánticas y apunta la necesidad de que ciertas **habilidades cuánticas sean horizontales**.

Los expertos coinciden en que implantar una nueva disciplina académica lleva tiempo y que es ahora el momento de diseñarla.

Algunas de las iniciativas en formación específica son:

**“El talento para quantum + IA vendrá en gran medida de spin-offs de universidades y centros de investigación”.**



**Araceli Venegas-Gómez**



## Una nueva narrativa para Quantum e inteligencia artificial

Los medios de comunicación desempeñan un papel importante en la educación de la sociedad respecto a las tecnologías cuánticas y la IA. Y por tanto, tienen una responsabilidad a la hora de exponerlas y de transmitir su realidad y su potencial. El periodismo debe evitar el riesgo de la hipérbole y de las predicciones que no se cumplen, y, a la vez, saber transmitir conceptos claros de unas tecnologías de gran complejidad, exponiendo los retos y las oportunidades que se abren en los distintos campos. En paralelo, se debe **luchar contra la desinformación** que se genera muchas veces desde las redes sociales. Así dice **Scott Simon**, escritor y periodista director de varios programas en la **NPR** -el servicio de radiodifusión pública de Estados Unidos- y Patrono de la Fundación Innovación Bankinter.

No se trata sólo de explicar cómo funciona la tecnología. Se trata de tener una visión de conjunto y de plantearse preguntas difíciles para poder transmitir la información de la manera más completa y honesta posible: "¿cómo vamos a utilizar esto? ¿Cuáles son los riesgos potenciales y las esperanzas de esta tecnología? ¿Quién va a utilizarla? ¿A quién va a pertenecer? ¿Quién va a tener acceso?". Y también hay que tener en cuenta el contexto político, cultural y social, explica **Victoria Turk**, Directora de Reportajes de **Rest of World**, publicación de tecnología para un público general, enfocada en las geografías fuera de Norteamérica y Europa.

**Scott  
Simon**



**Victoria  
Turk**



## La síntesis de ChatGPT

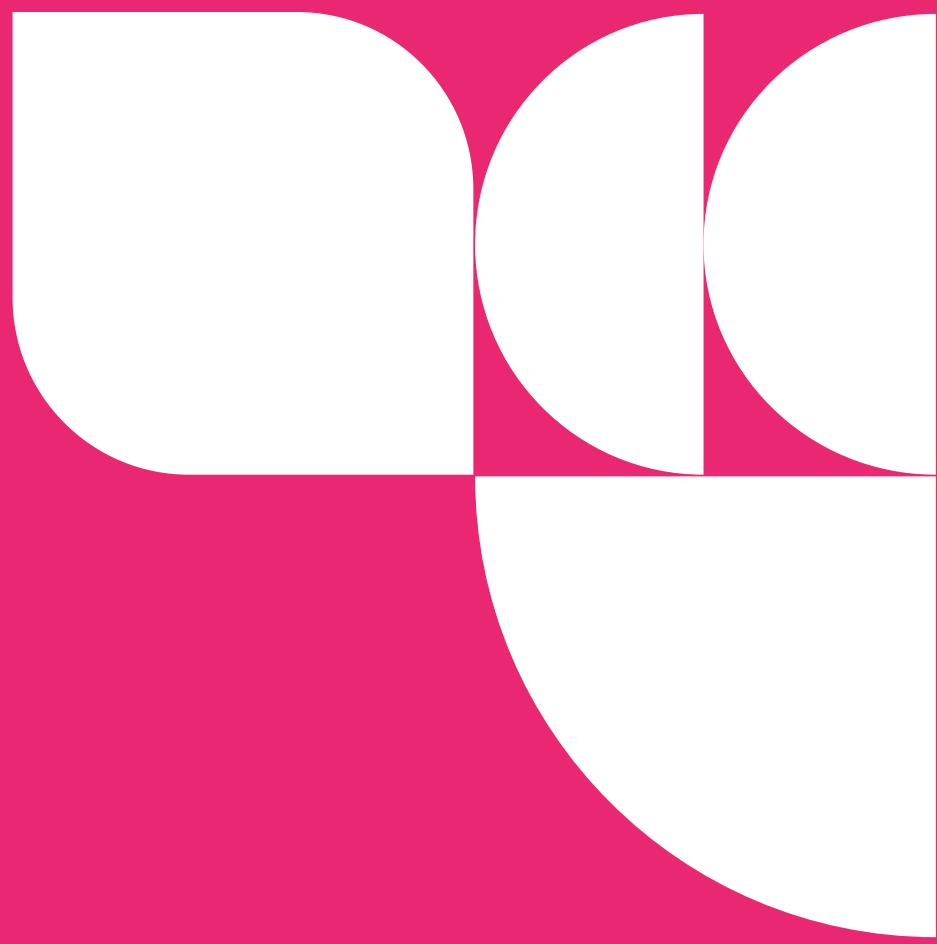
El capítulo "Ética, educación y adquisición de talento" del informe se centra en analizar los aspectos éticos, la educación y la formación de los profesionales en las tecnologías cuánticas e inteligencia artificial (IA). El experto Theodore Lechtermann propone que se destine parte de las inversiones en I+D a la investigación de los campos de la ética y la gobernanza para averiguar lo que podría funcionar y las áreas que deberían desarrollarse. Además, señala que es necesario abordar cuestiones éticas relacionadas con el uso ilícito, los sesgos y la privacidad en la computación cuántica y la IA. En cuanto a la educación y la adquisición de talento, se destaca la necesidad de introducir estas materias en los programas formativos desde la infancia, y se menciona el Plan Estratégico Nacional de EE. UU. para el Desarrollo de la Mano de Obra en Ciencia y Tecnología de la Información Cuántica como ejemplo de iniciativa para aumentar la mano de obra especializada en este ámbito.



### Theodore Lechtermann

 Ver perfil

6



**Acciones a  
realizar para  
sumarse a la  
revolución  
quantum + IA**



6

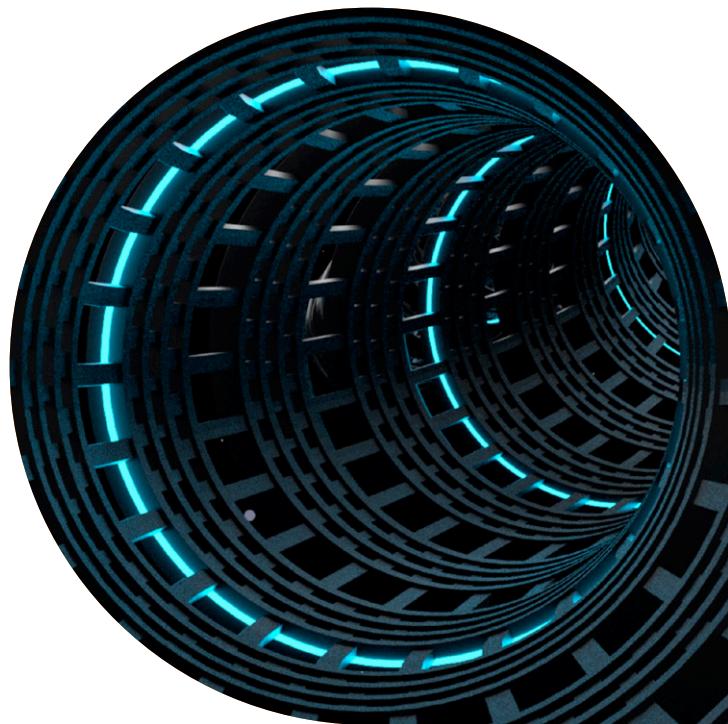
# Acciones a realizar para sumarse a la revolución quantum + IA

Para que todos los *stakeholders* puedan tener una hoja de ruta ante las oportunidades y retos que surgen de la suma de las tecnologías cuánticas y la IA, a continuación se presenta:



**"En las tecnologías cuánticas queda mucho por hacer y mucho por descubrir. Surgirán aplicaciones y soluciones inesperadas, que nadie está contemplando hoy".**

**Juan Ignacio Cirac**





## Hoja de ruta estrategia cuántica para líderes empresariales

Para que los líderes corporativos puedan navegar por los cambios que trae la tecnología cuántica junto con la IA y también, para buscar un respaldo financiero, tanto a nivel privado como público, se debe contar con una hoja de ruta que contemple:

- el impacto de estas tecnologías en los modelos de negocio existentes,
- las tendencias cuánticas que aportan más valor al negocio,
- los perfiles profesionales que deben sumarse a los grupos de trabajo sobre estrategia cuántica,
- la conveniencia de tomar una posición ofensiva o defensiva frente a la competencia y
- los criterios a tener en cuenta para tomar decisiones que afecten al negocio en lo relativo a estas tecnologías.

## Tecnologías cuánticas y nuevos perfiles profesionales

A partir de la anterior hoja de ruta, donde se determinan cuáles son los roles que se van a necesitar en la empresa, es necesario buscar a las personas.

Decidiendo primero qué tipo de competencias deberían tener estas personas y qué tipo de perfiles: ¿deben ser de tecnología, de negocio, ambos?

Dado lo incipiente de estas tecnologías, el otro asunto a resolver es localizar los tipos de formación que se ofrecen en el mercado.

Para los expertos, **el problema que se presenta no es un problema tecnológico; es un problema de gestión del cambio**. Por tanto, recomiendan abordarlo de manera similar a como se han abordado otros retos cuando se han introducido nuevas tecnologías en la empresa: computación en nube, digitalización o ciberseguridad.

Podemos utilizar el mismo tipo de proceso para crear o atraer a líderes internos, contar con ayuda externa y formar a la plantilla para que sepan por qué esto es importante.





## Fomento de las startups Quantum+ IA en España/Europa

Dado que las tecnologías cuánticas están en una fase de madurez diferente a la IA, algunas consideraciones sobre las primeras:

Una startup cuántica es diferente de cualquier otra startup tecnológica en tres grandes categorías:

- 1.- La dificultad de tener el talento tecnológico adecuado.
- 2.- Incertidumbre sobre los resultados. Todavía no se sabe si las tecnologías cuánticas serán escalables ni cuándo. Para una tarea específica, como la generación de números aleatorios que se menciona anteriormente por **Carlos Abellán**, sabemos que ya existe la necesidad y la solución, pero en otros casos no está claro cuándo la cuántica habrá creado una ventaja competitiva clara, si es que llega ese momento.
- 3.- Coste de la puesta en marcha. Básicamente se trata de empresas intensivas en capital y con retornos de la inversión a largo plazo. Combinado con los otros dos factores, hace que no sean interesantes para el capital riesgo.

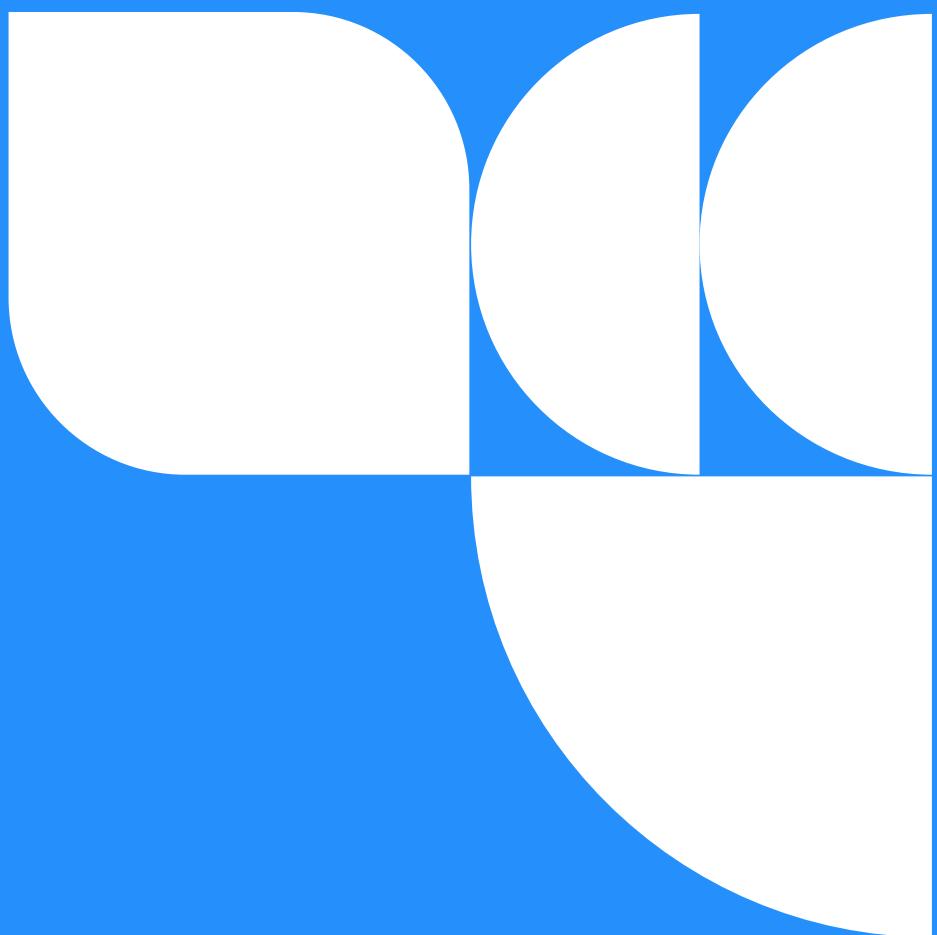
A lo anterior hay que añadir los costes de las patentes, al menos en Europa y en particular en España, para proteger la propiedad intelectual.

¿La solución? Tratar de establecer algunos paralelismos con otras áreas en que esto ha sucedido antes -como la industria de la biotecnología-. De aquí se deduce que es necesario acelerar tanto como sea posible la creación de ecosistemas equivalentes a los **Media Lab** o los **Kendall Squares**, que permitan dar acceso a las startups a laboratorios punteros de manera competitiva.

Respecto a las startups de IA, entendiendo que son empresas de IA de alta tecnología que normalmente provienen de un centro de investigación y tienen tecnología punta que aún necesita expandirse en el mercado, se presentan dos dificultades: **escalar la compañía y retener el talento**. La propuesta de los expertos: crear una oficina de transferencia de tecnología (OTT), desde la que abordar el problema.

## La síntesis de ChatGPT

El informe ofrece una guía para que los líderes empresariales se sumen a la revolución cuántica + IA, que incluye aspectos como el impacto en los modelos de negocio existentes, los perfiles profesionales necesarios y la toma de decisiones estratégicas. También se aborda la importancia de contar con talento adecuado y la incertidumbre sobre los resultados en el ámbito de las startups cuánticas, y se propone crear ecosistemas para fomentar su crecimiento. Por otro lado, se plantean las dificultades de escalar y retener talento en las startups de IA y se sugiere la creación de una oficina de transferencia de tecnología para abordar el problema.



# Predicciones sobre Quantum + IA



## Predicciones sobre Quantum + IA

Tras exponer y analizar el estado del arte, así como los retos y las oportunidades, concluimos con algunas de las previsiones que realizan los expertos del Future Trends Forum respecto a las tecnologías cuánticas sumadas a la inteligencia artificial: ¿qué tipo de actores harán qué tipo de acciones y cuándo? ¿con qué resultados esperados? A continuación, se recogen las principales proyecciones de futuro sobre tecnologías cuánticas + IA, si se siguiesen las acciones a realizar propuestas por los expertos:

### De inmediato

- Desde los gobiernos europeos, creación de centros de excelencia cuántica que incorporen a todos los interesados, unifiquen iniciativas y generen tracción.
- Creación de bootcamps (cursos intensivos e inmersivos) en Quantum + IA para generar talento cuántico.

### En 2025

- Creación de fondos públicos para desarrollar soluciones de Quantum + IA para los grandes retos sociales.
- Se crearán fondos de capital riesgo europeos para que tengan la capacidad de invertir en deep tech a más largo plazo. Como resultado, se podría cerrar la brecha de 10 a 1 entre EE.UU. y Europa en términos de inversión en startups cuánticas.
- Se producirán desinversiones ("exits") exitosas y existirá una alta supervivencia de startups cuánticas y de IA de base.

### Entre 2025 y 2030

- En cinco años, se implementará la ingeniería cuántica como una nueva disciplina, y en diez años, se introducirán los conceptos cuánticos en todo el sistema de enseñanza.
- Las grandes empresas escalarán las tecnologías cuánticas de forma eficiente para 2030, con lo que habrá un uso generalizado a partir de entonces.
- Al final del periodo, se conseguirá la ventaja cuántica, esto es, los ordenadores cuánticos superarán a los tradicionales en amplios campos de aplicación.

### A partir de 2030

- Se generalizará el **Upskilling y el Reskilling** para dotar de habilidades cuánticas a los profesionales actuales y existirá la planificación de la estrategia de formación cuántica a largo plazo.
- El público general estará familiarizado con las tecnologías cuánticas.
- Creación de ecosistemas verticales de quantum computing + IA para abordar soluciones personalizadas por sectores industriales: finanzas, industria, salud y farmacia, etc.
- Alrededor de 2045, existirán profesionales altamente preparados para Quantum + IA desde su infancia.



Actores	Hoy	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Administraciones públicas</b>	<p>Necesidad urgente de elaborar una estrategia cuántica paneuropea única</p> <p>Aumento de la financiación pública de la ciencia básica</p> <p>Articular una estrategia nacional en línea con la necesaria estrategia europea, para preparar a la industria</p> <p>Creación de un centro de excelencia que incorpora a todos los interesados, unifica iniciativas y genera tracción</p>	<p>Normativa razonable, lúcida, sensata y flexible. Resultado: El ingenio puede florecer</p> <p>Dedicar fondos públicos para desarrollar soluciones de Quantum + IA para los grandes retos sociales</p>					
<b>Grandes corporaciones</b>	<p>Transición hacia criptografía cuántica y post cuántica</p> <p>Preparar estrategia cuántica de negocio</p>	<p>Financiar I+D cuántica</p> <p>Ayudar a los gobiernos a desarrollar las estrategias cuánticas</p> <p>Mayor concienciación y acción en Quantum + IA</p>	<p>Acción: Escalar eficientemente las tecnologías cuánticas. Resultado: Mayor disponibilidad.</p> <p>Reciclaje y mejora de las habilidades de los profesionales actuales y planificación de la estrategia de formación a largo plazo</p> <p>Crear ecosistemas verticales de quantum computing + IA</p>				
<b>Startups</b>	<p>Apoyar a los inversores en fondos de alta tecnología</p> <p>Cerrar la brecha de 10:1 en la inversión entre EE.UU. y Europa</p>	<p>Centrarse en la entrega de soluciones prácticas y en la integración</p> <p>Crecer e internacionalizar</p>					
<b>Educación</b>	<p>Alfabetización cuántica: Enseñar conceptos cuánticos a edad temprana, formando al profesorado</p> <p>Crear bootcamps (cursos intensivos e inmersivos) en Quantum + IA</p>	<p>Los campos multidisciplinares se adentran en la cuántica</p> <p>Enseñanza en dimensiones éticas más allá del enfoque técnico</p>					<p>Existirán profesionales altamente preparados para Quantum + IA desde su infancia</p>



Actores	Hoy	2025	2030	2035	2040	2045	2050
I+D	Más spin-offs desde centros de investigación		Se consigue la ventaja cuántica: ordenadores cuánticos superan a los tradicionales en amplios campos de aplicación			Inteligencia artificial general (AGI) potencia las tecnologías cuánticas	
Inversores	Desarrollo de nuevos instrumentos financieros  Conocimiento profundo de las tecnologías de base y sus posibilidades  Sumar a expertos en tecnologías cuánticas a los consejos para detectar oportunidades reales  Potenciar las posibilidades cuánticas comerciales europeas	Surgen en Europa fondos de capital riesgo para startups de tecnologías cuánticas de base  Inversiones estratégicas en I+D apoyados por financiación pública  Salidas exitosas ("exits") y alta supervivencia de startups cuánticas y de IA de base					
Medios de comunicación	Dar más visibilidad a los problemas que podemos resolver hoy  Más relevancia a los casos de éxito reales	Ver más allá de las exageraciones ("Hype") y lograr que la industria asuma responsabilidades	El público general está familiarizado con las tecnologías cuánticas				





Para finalizar, **una reflexión de Brian Lenahan:**

*"Los retos de cómo escalar las tecnologías cuánticas, cómo disminuir los errores y cómo diseñar nuevos algoritmos para Quantum + IA siguen siendo importantes, pero se están haciendo progresos y Quantum + IA debería proporcionar en la próxima década algunos de los avances tecnológicos más interesantes."*

Y una conclusión del Dr. Latorre:

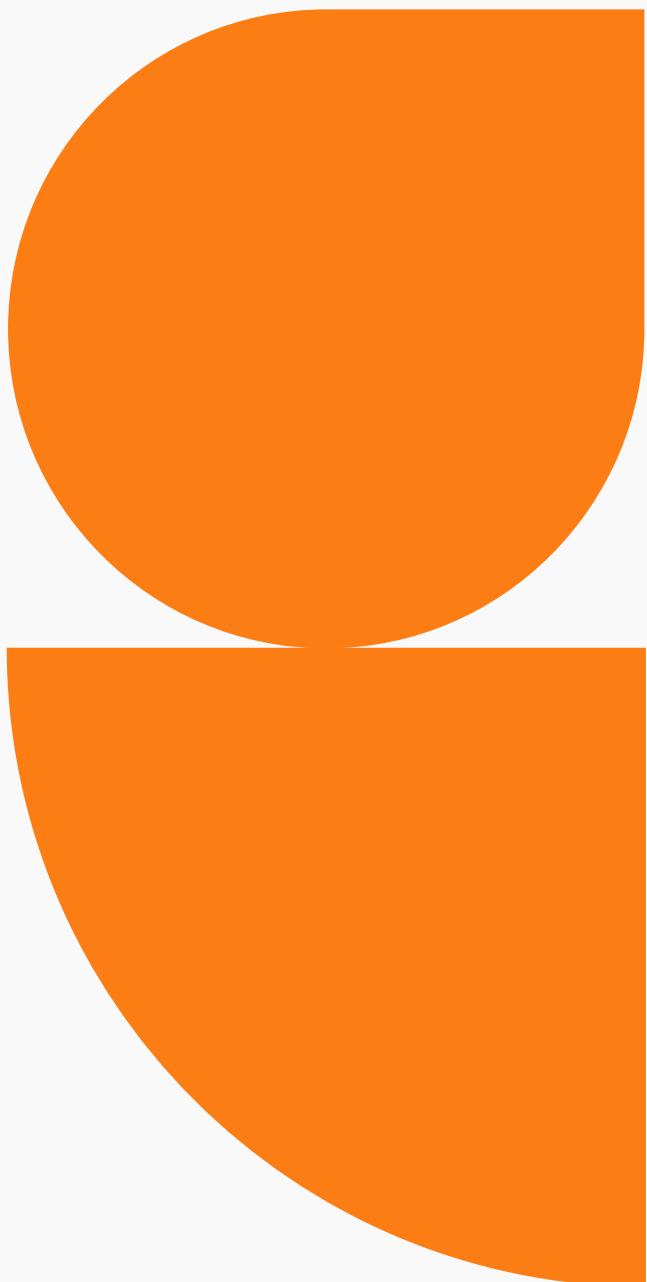
*"Tanto bombo y platillo con expectativas poco realistas pueden provocar desánimo. Además, a largo plazo, la IA es más emocionante que las tecnologías cuánticas y a día de hoy no hay talento cuántico o es demasiado caro,*

**PERO**

*El ritmo del progreso científico sigue siendo muy notable, los mejores talentos están decantándose por las tecnologías cuánticas y la soberanía tecnológica sobre quantum es primordial en la actual coyuntura geopolítica internacional."*

## La síntesis de ChatGPT

El último capítulo del informe se enfoca en las predicciones de expertos en tecnologías cuánticas sumadas a la inteligencia artificial. Se proponen acciones a realizar y se recogen las principales proyecciones de futuro. Entre las acciones propuestas se encuentran la creación de centros de excelencia cuántica y bootcamps en Quantum + IA. Para el 2025 se espera la creación de fondos públicos y de capital riesgo europeos para el desarrollo de soluciones de Quantum + IA, y una alta supervivencia de startups cuánticas y de IA de base. Entre 2025 y 2030 se espera la implementación de la ingeniería cuántica y la introducción de conceptos cuánticos en todo el sistema de enseñanza. A partir de 2030 se espera la generalización del upskilling y el reskilling y la creación de ecosistemas verticales de quantum computing + IA. Para finalizar, se reflexiona sobre los retos y progresos de las tecnologías cuánticas y se destaca la importancia de la soberanía tecnológica en la actual coyuntura geopolítica internacional.



# Anexo - Glosario



# Anexo - Glosario

## Ordenado por orden de aparición en el informe

### Reglas cuánticas

La física cuántica define unas nuevas reglas de juego que pueden resultar contra intuitivas. De manera muy resumida:

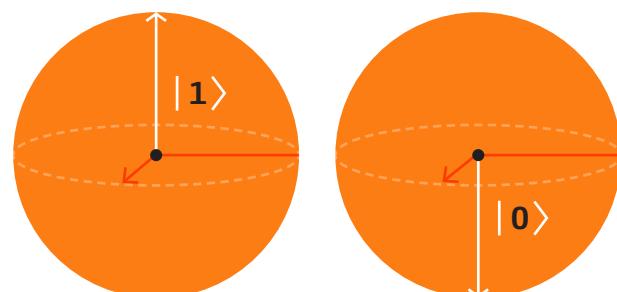
- a.- Las partículas subatómicas, como los fotones y los electrones, se describen en términos de **ondas de probabilidad**. Estas ondas no tienen una posición o velocidad definidas, sino que representan la probabilidad de encontrar una partícula en una determinada posición o con una determinada velocidad.
- b.- Es imposible medir con precisión la posición y la velocidad de una partícula subatómica al mismo tiempo. Esto se conoce como el **principio de incertidumbre de Heisenberg**.
- c.- Las partículas subatómicas pueden estar en varios estados al mismo tiempo, un fenómeno conocido como **superposición cuántica**.
- d.- Las partículas subatómicas pueden estar conectadas a través del espacio y el tiempo de una manera que no puede ser explicada por la física clásica. Este fenómeno se conoce como **entrelazamiento cuántico**.

### Definición de qubit

El elemento de información básico en un sistema cuántico es el **qubit**, y puede tomar cualquier valor en un continuo de estados cuánticos. A diferencia de un bit, que es la unidad de información básica en la informática clásica y puede tener dos estados (cero o uno), un qubit puede estar en una combinación lineal de ambos estados al mismo tiempo (superposición cuántica).

Por ejemplo, un qubit puede estar en el estado  $|0\rangle$  (cero) con una probabilidad de 0,7 y en el estado  $|1\rangle$  (uno) con una probabilidad de 0,3. Esto significa que, si midiéramos el qubit, tendríamos una probabilidad del 70% de obtener el resultado  $|0\rangle$  y una probabilidad del 30% de obtener el resultado  $|1\rangle$ .

Se suelen representar de la siguiente manera:



$$|\psi\rangle = \frac{|1\rangle + |0\rangle}{\sqrt{2}}$$

Fuente: <https://ecfm.usac.edu.gt/node/364>



## La base de las tecnologías cuánticas:

Algunas de las tecnologías más avanzadas en **Quantum Computing** son:

- **Computación cuántica basada en átomos:** en este enfoque, se utilizan átomos como qubits y se aprovechan sus propiedades cuánticas para realizar cálculos.
  - » *Pros:* los átomos tienen una alta estabilidad y son fáciles de controlar, lo que hace que sean adecuados para uso como qubits.
  - » *Contras:* es difícil escalar esta tecnología y crear sistemas cuánticos con muchos qubits.
- **Computación cuántica basada en fotones:** en este enfoque, se utilizan fotones (partículas de luz) como qubits y se aprovechan sus propiedades cuánticas para realizar cálculos.
  - » *Pros:* los fotones tienen una alta velocidad de transmisión, lo que los hace adecuados para comunicaciones cuánticas a larga distancia.
  - » *Contras:* los fotones son difíciles de controlar y mantener estables, lo que dificulta su uso como qubits.
- **Computación cuántica basada en superconductividad:** en este enfoque, se utilizan dispositivos superconductores para crear y controlar qubits.
  - » *Pros:* se pueden crear y controlar qubits de manera muy precisa utilizando dispositivos superconductores.
  - » *Contras:* estos dispositivos son frágiles y requieren condiciones extremas (como temperaturas muy bajas) para funcionar.
- **Computación cuántica basada en defectos:** en este enfoque, se utilizan defectos en materiales cristalinos, como diamantes, para crear y controlar qubits.
  - » *Pros:* se pueden crear y controlar qubits de manera muy precisa utilizando defectos en materiales cristalinos.
  - » *Contras:* como en el caso de la basada en áto-

mos, es difícil escalar esta tecnología y crear sistemas cuánticos con muchos qubits.

Como se aprecia, cada una de estas tecnologías tiene sus propias fortalezas y debilidades, y todas ellas se están desarrollando rápidamente y en paralelo. Hoy en día, los expertos no se pronuncian sobre cuál de ellas acabará imponiéndose o si convivirán, dado que es un campo en constante evolución y es probable que incluso surjan nuevas tecnologías de base en el futuro.

De la misma manera, en **comunicaciones cuánticas**, donde se utilizan principios de la mecánica cuántica para transmitir información de un lugar a otro de manera segura, las tecnologías más avanzadas incluyen:

- **Comunicación cuántica por fibra óptica:** en este enfoque, se utilizan fibras ópticas para transmitir señales cuánticas a través de grandes distancias.
  - » *Pros:* las fibras ópticas son estables y pueden transmitir señales cuánticas a larga distancia con poca pérdida de calidad.
  - » *Contras:* las fibras ópticas son frágiles y pueden ser dañadas fácilmente.
- **Comunicación cuántica por satélite:** en este enfoque, se utilizan satélites para transmitir señales cuánticas a través de grandes distancias.
  - » *Pros:* los satélites pueden transmitir señales cuánticas a larga distancia con poca pérdida de calidad.
  - » *Contras:* el alto coste de desplegar y mantener satélites en el espacio.
- **Comunicación cuántica por línea de visión:** en este enfoque, se utilizan líneas de visión directas (por ejemplo, a través de un telescopio) para transmitir señales cuánticas a través de grandes distancias.
  - » *Pros:* permite transmitir señales cuánticas a larga distancia sin la necesidad de fibras ópticas o satélites.

- » **Contras:** requiere líneas de visión directas, lo que limita su alcance y flexibilidad.
- **Comunicación cuántica móvil:** en este enfoque, se utilizan dispositivos móviles para transmitir señales cuánticas a cortas distancias.
  - » **Pros:** permite transmitir señales cuánticas a corta distancia de manera fácil y conveniente.
  - » **Contras:** la distancia máxima de transmisión es limitada y puede ser interrumpida por obstáculos físicos.

Como vemos, y al igual que en la computación cuántica, cada una de estas tecnologías tiene sus propias fortalezas y debilidades y es probable que surjan nuevas tecnologías en el futuro. En el caso de las comunicaciones cuánticas los expertos creen que **será más probable que convivan varias de ellas para abordar distintas problemáticas**.

Por último, en **mediciones cuánticas o quantum sensing**, donde se utilizan principios de la mecánica cuántica para medir cantidades físicas con alta precisión, entre las tecnologías más avanzadas se encuentran:

- **Sensores de posición y velocidad cuánticos.**
- **Sensores de campo electromagnético cuánticos.**
- **Sensores de temperatura cuánticos.**
- **Sensores de presión cuánticos.**

Al igual que en la computación cuántica y en las comunicaciones cuánticas, cada una de estas tecnologías tiene sus propias fortalezas y debilidades y es probable que surjan nuevas tecnologías en el futuro. En este caso, la fortaleza de todas ellas es común: la **alta precisión** frente a las soluciones existentes. La debilidad de todas ellas es que son **difíciles de implementar y requieren condiciones especiales** para funcionar de manera óptima.

## Algoritmo HHL (Harrow-Hassidim-Lloyd)

Se trata de un algoritmo cuántico, planteado teóricamente en 2008, para resolver sistemas de ecuaciones lineales. La resolución de sistemas de ecuaciones lineales es un problema habitual que se plantea tanto en solitario como en forma de subrutina en problemas más complejos. El algoritmo HHL plantea una solución a este tipo de problemas con una mejora exponencial en el tiempo de resolución sobre el mejor algoritmo clásico. Para más información: [Quantum algorithm for solving linear systems of equations](#)

## Ordenadores cuánticos NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum)

El ruido y la decoherencia son problemas importantes para los ordenadores cuánticos actuales que, además, tienen problemas para escalar más allá de unos cientos de qubits. Se denominan NISQ, literalmente, **ordenadores cuánticos ruidosos de escala intermedia**. La buena noticia es que se han empezado a diseñar algoritmos que, ejecutándose en este tipo de ordenadores NISQ, podrían resolver problemas que tendrían enormes repercusiones. Para más información: [NISQ computing: where are we and where do we go?](#)

## Computación cuántica neuromórfica

La computación cuántica neuromórfica trata de implementar físicamente redes neuronales en hardware cuántico inspirado en el cerebro para acelerar su capacidad de cómputo. Más información, aquí: [Quantum neuromorphic computing](#)



# Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a todos los miembros del Future Trends Forum (FTF) asistentes a la reunión, y a los colaboradores en la organización de la reunión:

A Frances Stead Sellers, por su liderazgo y moderación en las sesiones del foro, a Esperanza Cuenca y Carlos Kuchkowsky por su experta ayuda en el proceso de organización del foro, a Antonio Gálvez, autor de este informe, y al equipo de Prodigioso Volcán por su contribución innovadora.

Y por último, agradecer el compromiso del equipo de la Fundación Innovación Bankinter en que la innovación ayude a adelantarnos al futuro.

Las opiniones expresadas en este informe son del autor y no reflejan la opinión de los expertos que participaron en la reunión del Future Trends Forum.

## Participantes

**Alessandro Curioni**

IBM Fellow,  
Vicepresidente de IBM  
Research Europa y  
África y Director del IBM  
Research Lab de Zúrich

**Angel Cabrera**

Presidente de Georgia  
Institute of Technology y  
patrono de la Fundación  
Innovación Bankinter

**Antonio Abad**

Experto en Gestión de  
Riesgos, Adquisiciones,  
Aeroespacial, Ingeniería  
de Sistemas y Satélites y  
Lanzadores

**Araceli Venegas-Gomez**

CEO de QURECA

**Artur Ekert**

Profesor del Merton  
College de Oxford

**Asier Arranz**

Director de Robótica e  
IA integrada en NVIDIA  
y desarrollador de IA  
generativa

**Brian Lenahan**

Fundador y presidente  
del Quantum Strategy  
Institute

**Calum Chace**

Cofundador del grupo  
de expertos Economic  
Singularity Foundation y  
escritor especializado en IA

**Carlos Abellán**

Cofundador y CEO de  
Quside

**Carlos Kuchkovsky**

Cofundador de QCentroid y  
Remotefulness

**Carmen Reina**

Responsable de Cultura de  
Datos en Orange

**Charles Bolden**

Ex - administrador de  
la NASA; fundador de  
The Charles F. Bolden  
Group LLC y patrono de  
la Fundación Innovación  
Bankinter

**Tan Chin Nam**

Ex secretario permanente  
de la administración  
pública de Singapur y  
patrono de la Fundación de  
Innovación Bankinter

**Daniel Granados**

Director Ejecutivo de  
Infraestructuras Científicas  
del Instituto Madrileño  
de Estudios Avanzados  
en Nanociencias  
(IMDEA) y jefe del Grupo  
de NanoDispositivos  
Cuánticos

**Dimitris Bountolos**

CIO de Ferrovial

**Eden Shochat**

Socio de Aleph y patrono  
de la Fundación de  
Innovación Bankinter

**Emilio Méndez**

Asesor principal de la  
Dirección de Energía y  
Ciencias Fotónicas del  
Laboratorio Nacional de  
Brookhaven y  
patrón de la Fundación de  
Innovación Bankinter

**Esperanza Cuenca**

Responsable de Estrategia  
y Divulgación de Multiverse  
Computing

**Gopal Karemire**

Director del departamento  
de investigación e  
inteligencia digital de Novo  
Nordisk A/S en Dinamarca

**Grace Xin Ge**

Asesora, ex CFO de Du  
Xiaoman (Baidu Financial)  
y patrona de la Fundación  
Innovación Bankinter

**Iryna Gurevych**

Profesora del  
Departamento de  
Informática de la  
Universidad Técnica de  
Darmstadt y Directora  
del Laboratorio de  
Procesamiento Úbico del  
Conocimiento

**Javier Lazaro**

Director de Digital Hub en  
Ferrovial

**Javier Minguez**

Cofundador y director  
científico de Bitbrain

**Jose Ignacio Latorre**

Director del Centro de  
Tecnologías Cuánticas de  
Singapur e Investigador  
Jefe del Instituto de  
Innovación Tecnológica de  
Abu Dhabi

**Juan Ignacio Cirac**

Director del Instituto Max  
Planck de Óptica Cuántica

**Lucas Lamata**

Profesor asociado en la  
Universidad de Sevilla

**Marc Manzano**

Director de Seguridad  
Cuántica en SandboxAQ

**Nacho Puell**

VC en Kfund

**Philip Lader**

Ex Embajador en el Corte  
de San James y Patrono  
de la Fundación Innovación  
Bankinter

**Ramon López de  
Mántaras**

Profesor de Investigación  
del Consejo Español  
de Investigaciones  
Científicas (CSIC) y director  
adjunto del Instituto  
de Investigación en  
Inteligencia Artificial  
del CSIC

## Participantes

**Richard Kivel**

Inversor en Tecnología y Salud y patrono de la Fundación Innovación Bankinter

**Scott Simon**

Presentador de Weekend Edition Saturday en la emisora NPR y patrono de la Fundación de Innovación Bankinter

**Senen Barro**

Director CiTIUS-Centro Singular de Investigación en Tecnologías Inteligentes at Universidad de Santiago de Compostela

**Sergio Gago**

Responsable de informática cuántica en Moody's

**Sheila Stamps**

Experta financiera y profesional de la gestión de riesgos y patrona de la Fundación de Innovación Bankinter

**Stefanie Barz**

Catedrática de información y tecnologías cuánticas en la Universidad de Stuttgart y directora del Centro de Ciencia y Tecnología Cuánticas Integradas, IQST

**Theodore Lechtermann**

Profesor Adjunto de Filosofía en IE University

**Thierry Botter** Director

Ejecutivo del Consorcio Europeo de la Industria Cuántica. Socio de Quantonation.

**Victor Canivell**

Cofundador y consejero delegado de Qilimanjaro

**Victoria Turk**

Directora de Reportajes de Rest of World

