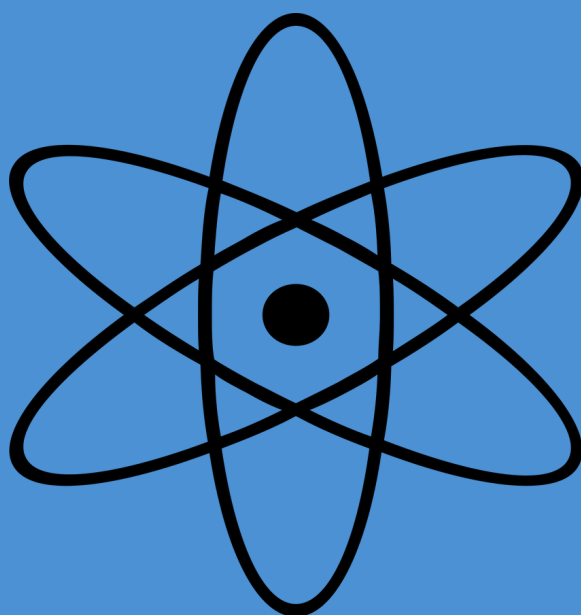


Computación cuántica

INFORME SITUACIÓN 2022



Plataforma Tecnológica Española
de Tecnologías Disruptivas

Con financiación de:



Convocatoria 2020 Plataformas
Tecnológicas y de Innovación
(PTR2020-001159)

Secretaría técnica a cargo de:



Asociación de Peritos Científicos
y Tecnológicos de España

INDICE

03	Introducción
10	Aplicaciones actuales
13	Ecosistema
16	Retos y oportunidades
16	Casos de uso
19	Enlaces de interés

INTRODUCCIÓN

Si las previsiones se cumplen, España contará con su propio ordenador cuántico a finales de 2022.

Este es el calendario de la iniciativa **Quantum Spain**, nuevo proyecto del Gobierno donde se destinarán hasta 60 millones de euros en tres años para el desarrollo del primer ecosistema de computación cuántica del sur de Europa.

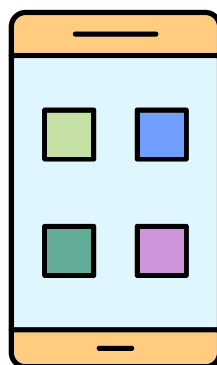
En este sentido, con respecto a 2021, 2022 se presenta como un año decisivo en el liderazgo de España en materia de computación cuántica.

España aspira a convertirse en una potencia en este nuevo ámbito, y ya inició el camino desde el primer simulador cuántico instalado en el CESGA en Galicia hasta el **futuro ordenador cuántico EuroHPC del Barcelona Supercomputing Center** que se integrará en el superordenador MareNostrum 5.

Por otro lado, **en julio de 2022, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST - National Institute of Standards and Technology) del Departamento de Comercio de Estados Unidos, aprobó el primer grupo de herramientas de cifrado que están diseñadas para resistir el ataque de un futuro ordenador cuántico**, que podría romper la seguridad utilizada para proteger sistemas digitales como la banca online.

Este informe pretende ser una foto del momento actual en el que se encuentra dicha tecnología en España y que sirva para poder comparar la situación en un futuro próximo.

APLICACIONES ACTUALES



Como señalábamos en el informe de 2021, una de las principales aplicaciones hacia la que se están enfocando los últimos avances de la computación cuántica es hacia el desarrollo de redes de comunicación seguras, es decir, de un **internet cuántico** que complementará al actual.

La criptografía cuántica está avanzando y ya se ha desarrollado varios pilotos e incluso es posible su aplicación comercial. En este sentido, la Distribución de Clave Cuántica (Quantum Key Distribution, QKD) es en la actualidad el **primer protocolo de información cuántica completamente disponible para aplicaciones comerciales**. Este es el protocolo BB84 en el que la red de Madrid está funcionando. La red de Madrid ha logrado transmitir señales cuánticas por la misma fibra física por donde se retransmiten las señales clásicas de control de red. Este avance único en el mundo ha sido posible mediante la programación de una red cuántica definida mediante software (quantum SDN Network), un esfuerzo conjunto de la UPM y Telefónica I+D.

Asimismo, Cellnex participó recientemente en la primera conexión con criptografía cuántica con tecnología propia en lo que se considera el **embrión de lo que será la futura red metropolitana en Barcelona y de la prevista infraestructura paneuropea de comunicaciones cuánticas** (EuroQCI), en una iniciativa promovida por el ICFO (Instituto de Ciencias Fotónicas). En este proyecto también participa **CSIC** para el arranque de infraestructuras de comunicación cuántica en Madrid, Barcelona y Vigo (colaboración con Telefónica y Cellnex).



APLICACIONES ACTUALES

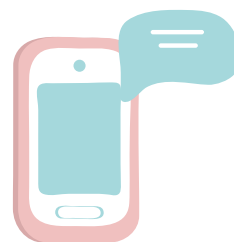
También destacamos un proyecto de Inteligencia Artificial aplicada a la agricultura que incluye computación cuántica, en el que también participa el **CSIC**. Se trata del proyecto **AgrarIA**, dentro de la convocatoria **Misiones de CDTI** y que investigará la aplicación de la inteligencia artificial (IA) a la cadena de valor de la producción agrícola para permitir una eficiente, productiva y sostenible transformación del sector. El consorcio, liderado por **GMV**, involucra a 24 entidades entre grandes empresas, pymes y centros de investigación con el interés común de fortalecer la productividad del sector agroalimentario español a través de actividades de I+D.

Además, **las aplicaciones actuales se están centrando en aprovechar las ventajas de la gran capacidad de memoria de los ordenadores cuánticos para simular** ecuaciones, distribución de probabilidad, soluciones a problemas de optimización, factorización de números o el bajo coste de generación de estados aleatorios con aplicación en el aprendizaje automático, análisis de riesgos o precios, etc. Asimismo, se está trabajando en el desarrollo de algoritmos de simulación cuántica que se inspiran en las capacidades de la computación cuántica pero se pueden ejecutar en ordenadores clásicos.

En este sentido, podemos destacar las aplicaciones actuales que están realizando las entidades que participan en el **Grupo de trabajo de computación cuántica de PTE DISRUPTIVE** y que son las siguientes:

- **Investigación fundamental en temas de reacciones químicas ligadas a reacciones genéricas y en temas de optimización.**
- **Investigación en temas de optimización de logística y finanzas**
- **Algoritmos de inspiración cuántica para aplicaciones industriales**

APLICACIONES ACTUALES Y FUTURAS



Con respecto a las aplicaciones futuras o en un futuro próximo, como ya apuntábamos en el informe de 2021, la gran contribución de la computación cuántica va a estar en materia de **predicciones sobre el cambio climático**, beneficiando al medio ambiente, a la agricultura y a la sostenibilidad. También en el ámbito de la salud, con la posibilidad de desarrollar **medicina personalizada y poder detectar y abordar la solución de enfermedades como el cáncer o el Alzheimer** o el **diseño de nuevos fármacos** de forma mucho más rápida. Asimismo, se prevé su aplicación para el desarrollo de **nuevos materiales** superconductores más eficientes.

Por otro lado, destacamos los siguientes ámbitos como aspectos claves en los nuevos avances en el ámbito cuántico:

Comunicaciones cuánticas vía satélite:

Se prevé que el mercado global de comunicaciones cuánticas vía satélite (incluyendo plataformas, lanzamientos y servicios) alcance los 2.600 millones de dólares en 2030, con una facturación acumulada asociada a servicios (principalmente (Quantum Key Distribution, (QKD)) de 1.800 millones de dólares.

Sensórica cuántica:

Los sensores cuánticos son dispositivos que usan algún fenómeno cuántico para que, bajo ciertas circunstancias, se incremente su exactitud, resolución, y sensibilidad en comparación a sus contrapartes clásicas. Ello aplicado al ámbito de la salud ayudará a detectar señales electromagnéticas débiles o diferencias de temperatura con muy alta precisión. Además, el uso de nuevas técnicas de generación de imágenes como la magnetoscopia de alta resolución de tejido vivo complementará nuestra comprensión actual y ofrecerá mejores diagnósticos. Asimismo, permitirá nuevos productos, servicios y mejoras en ingeniería, logística, producción, etc.

ECOSISTEMA



Para completar el mapa del ecosistema español en cuanto a tecnología cuántica que ya mostramos en el informe del año anterior, podemos añadir a las siguientes personas y entidades:

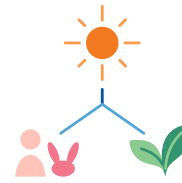
Adán Cabello es profesor del departamento Física Aplicada de la Universidad de Sevilla y una de sus investigaciones fue reconocida como una de las más relevantes de 2020 en el campo de la física por la revista 'Physics World'. La labor permitió "filmar" lo que sucede durante una medición de un sistema cuántico, un hito que hasta ahora era un misterio para los científicos.

Además, un grupo de investigadores chinos cree haber demostrado en un experimento a partir de un juego la "pseudotelepatía cuántica". El trabajo se fundamenta, según indica Science, en una propuesta de Adán Cabello, publicada en 2001 en Physical Review Letters.

Start-up Quantum Sensing: Esta startup ha sido creada por Bosh para desarrollar actividades relacionadas con la detección cuántica. En ese sentido, han construido demostradores totalmente funcionales y potentes. El objetivo a largo plazo es conseguir una mayor miniaturización e integrar la tecnología en un chip. Asimismo, también están trabajando en el ámbito del magnetómetro cuántico que pueden utilizarse, por ejemplo, para detectar los diminutos campos magnéticos generados por los procesos fisiológicos.

El trabajo del grupo Quantum Technology and Science de la **Universidad de Murcia** posibilitará la puesta en marcha del **primer laboratorio de España de tecnologías cuánticas basadas en sensores NV**. **Javier Prior**, investigador principal del grupo, explica que estos sensores implantados en diamantes permitirán un temprano diagnóstico de algunas enfermedades.

ECOSISTEMA



A principios de año arrancaba la **iniciativa CUCO**, también dentro de la convocatoria de **Misiones de CDTI**, y calificado como “el primer gran proyecto de computación cuántica de ámbito nacional y empresarial con el objetivo de progresar en el conocimiento científico y tecnológico de algoritmos de computación cuántica mediante la colaboración público-privada”. Esta iniciativa está compuesta por siete empresas, cinco centros de investigación, entre los que se encuentra **Tecnalia**, y una universidad pública, **la Politécnica de Valencia**. Además, el **CSIC** también participa en el proyecto, en particular en el estudio de algoritmos cuánticos aplicados a finanzas. El proyecto se centrará en investigar la aplicación de la computación cuántica en industrias estratégicas para la economía española: energía, finanzas, espacio, defensa y logística.

QCentroid es la primera startup enfocada en proporcionar computación cuántica y algoritmos ("esteroides cuánticos") a protocolos Web3 y fuerza de talento para acelerar la creación de soluciones de transformación sostenible para problemas y desafíos complejos para organizaciones (ESG) y sociedades (UN SDGs).

En **Quside** diseñan y comercializan tecnologías cuánticas para una conectividad segura y una computación avanzada y su CEO es **Carlos Abellán**. Los generadores de números aleatorios cuánticos de Quside5, medibles y de alto rendimiento, se utilizan hoy en día en aplicaciones de alta seguridad y cálculo aleatorio en una amplia gama de mercados, como las finanzas, los seguros, la nube o la logística.

LuxQuanta, spin-off del ICFO, se dedica a fabricar módulos de QKD para mejorar la seguridad de las telecomunicaciones. Está liderada por el Dr. **Valerio Pruneri**, con fuerte presencia en la iniciativa EuroQCI.

Tanto Quside como LuxQuanta se ubican en el **Parc Mediterrani de la Tecnologia** (Universidad Politécnica de Cataluña). Asimismo, también destaca el lanzamiento de la spin-off del CSIC **Inspiration-Q** para algoritmos de inspiración cuántica



ECOSISTEMA

En **Kyndryl**, spin off de IBM ofrecen servicios Quantum que cubren las diferentes etapas del proceso: consultoría estratégica, análisis, diseño y planificación y ejecución e implantación y Están diseñando y modelizando casos de uso relacionados con los sectores de finanzas, agricultura y medio ambiente.

Alberto Casas es doctor en física teórica y profesor del CSIC y autor de *La revolución cuántica: Un recorrido por los mecanismos ocultos de la realidad* publicado en septiembre de 2022.

Y cerramos el repaso por el ecosistema del mundo cuántico español con la noticia que hace poco saltaba a todas las portadas, **el segundo ordenador cuántico para España**. Y es que nuestro país ha sido uno de los seis países europeos seleccionados por el consorcio de supercomputación de la Unión Europea (UE), la European High Performance Computing Joint Undertaking (EuroHPC JU), para albergar y operar los primeros ordenadores cuánticos EuroHPC. La nueva infraestructura se instalará en el **Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS)** y se integrará en el superordenador **MareNostrum 5**, el más potente de nuestro país y entre los más avanzados de Europa, en colaboración con el Instituto de Física de Altas Energías (IFAE), y el International Iberian Nanotechnology Laboratory (INL), en Portugal.

El director del BSC - CNS, **Mateo Valero**, una de las voces más reputadas de la ciencia de computación a nivel español y europeo pronostica que “esta nueva infraestructura que integrará la computación cuántica con MareNostrum 5, uno de los superordenadores más potentes de Europa, nos permitirá avanzar en múltiples aplicaciones académicas”.

La finalización de este informe ha coincidido con la publicación por parte de **AMETIC** con un informe sobre la España Cuántica, cuyo enlace podéis ver en el anexo y donde se pueden consultar el resto de agentes del ecosistema de cuántica en España.

RETOS Y OPORTUNIDADES

El PERTE de microelectrónica y semiconductores y el Plan Complementario de Comunicación Cuántica para reforzar la ciberseguridad a través de la I+D+i son dos ventanas de oportunidades

IDC espera que **las inversiones en computación cuántica alcancen los 14.760 millones en 2027**, con una tasa de crecimiento anual compuesto del 11,3 % en los próximos seis años.

Entre las acciones que incluye el PERTE de microelectrónica y semiconductores - PERTE CHIP se encuentra el **Refuerzo de la capacidad científica**. Este eje incluye actuaciones para fortalecer la I+D+i sobre microprocesadores de vanguardia y arquitecturas alternativas y la fotónica integrada, desarrollar chips cuánticos y lanzar una línea de financiación para reforzar el Proyecto Importante de Interés Común Europeo (IPCEI) de Microelectrónica y Tecnologías de la Comunicación. Todo ello con una inversión de 1.165 millones de euros para el periodo 2022-2027.

Además, **se prevé que el mercado global de comunicaciones cuánticas vía satélite** (incluyendo plataformas, lanzamientos y servicios) **alcance los 2.600 millones de dólares en 2030**, con una facturación acumulada asociada a servicios (principalmente (Quantum Key Distribution, (QKD)) de 1.800 millones de dólares.

Por su parte, el Ministerio de Ciencia e Innovación destina 54 millones de euros al **Plan Complementario de Comunicación Cuántica** para reforzar la ciberseguridad a través de la I+D+i.

Destaca también la consolidación del **congreso Quantum Matter** (quantumconf.eu), con más de 400 asistentes y una jornada industrial. La próxima cita será en Madrid del 23 al 25 de mayo de 2023.



RETOS Y OPORTUNIDADES

Por otro lado, y como apuntamos en la introducción, el Gobierno aprobó en octubre de 2021 el plan **Quantum Spain** para la creación de un ecosistema de computación cuántica para la Inteligencia Artificial basado en un modelo de cooperación público - privada con el objetivo de impulsar la computación cuántica en España y reforzar el sistema de computación español mediante una serie de actuaciones estructuradas en los siguientes ejes:

- Algoritmia cuántica
- Creación de un ordenador cuántico de producción basado en corrientes superconductoras
- Dotación de ordenadores clásicos de simulación
- Talento

La primera fase del proyecto contará con una inversión inicial de 22 millones de euros, que se empezó a movilizarse en 2021 y se canalizarán a través de la Red Española de Supercomputación (RES). Bajo el modelo de colaboración público-privada que fomenta el Plan de Recuperación, **se prevé una inversión total de hasta 60 millones a través de la complementariedad con otras iniciativas también europeas.**

Aunque existen muchas oportunidades, no el ámbito cuántico no está exento de retos, como el es **talento**. Tal y como apunta **Alba Cervera**, coordinadora de Quantum Spain, a pesar de que hay una demanda altísima de trabajadores y trabajadoras de esta disciplina, tanto para empresas como para universidades, es todo un reto encontrar este tipo de talento. En este sentido es importante apuntar el lanzamiento del **master UIMP-CSIC en tecnologías cuánticas** .

CASOS DE USO

A continuación os mostramos algunos de los ejemplos de casos de uso que DISRUPTIVE ha ido recopilando durante los últimos meses y que puedes consultar con más detalle pinchando [aquí](#)



ESTACIÓN ÓPTICA TERRESTRE QKD- Instituto Astrofísica de Canarias

IACTEC esta realizando el proyecto de una estación terrestre de comunicaciones ópticas clásicas y cuánticas, con apoyo financiero del Plan de Recuperación, transformación y resiliencia (Fondos Next Generation), que permite llevar a cabo comunicaciones seguras mediante el uso de tecnologías cuánticas. La comunicación cuántica es una tecnología que permite el envío de mensajes cifrados aprovechando las propiedades de los fotones (luz) para asegurar la seguridad de las comunicaciones y la protección de datos sensibles. En conclusión se trata de una red ultrasegura que será la base del internet del futuro. Los escenarios de comunicación que permite la estación desarrollada actualmente son inter-islas, interurbanos y con satélites LEO.



PROYECTO AGRARIA- GMV y CSIC

El consorcio de 24 organizaciones público-privadas liderado por GMV, en el marco de la Agenda España Digital 2025 y la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial, pone en marcha el proyecto AgrarIA, con el ambicioso objetivo de investigar la aplicabilidad y viabilidad de la inteligencia artificial (IA) junto con otras tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 en soluciones reales para definir nuevos métodos de producción agraria que redunden en que en el futuro el sector agroalimentario español sea más tecnológico, innovador, sostenible y comprometido con la eficiencia energética y la disminución de la huella de carbono.

ENLACES DE INTERÉS

Aquí os remitimos a enlaces de noticias, webs, documentos normativos o informes de interés, así como a bibliografía sobre esta tecnología.

[Píldora formativa sobre computación cuántica de APTEFORMA](#)

[La computación cuántica moverá 7.600 millones en 2027 tras crecer un 51% anual](#)

[La ciencia está un paso más cerca de demostrar la "pseudotelepatía cuántica" \(y España ha puesto su parte\)](#)

[Arranca en España el primer proyecto de computación cuántica de colaboración público-privada](#)

[«Hay muy poca gente que tenga formación sobre computación cuántica»](#)

[El NIST aprueba los primeros algoritmos de cifrado resistentes a la computación cuántica](#)

[La computación cuántica que viene](#)

[Aplicaciones de la computación cuántica](#)

[Canal YouTube sobre computación cuántica](#)

[The business case for quantum computing](#)

[PERTE de Microelectrónica y semiconductores](#)

[La UMU contará con el primer laboratorio español de tecnología cuántica que utiliza diamantes para la detección precoz de enfermedades](#)

Libro La Revolución Cuántica de Alberto Casas

Alberto Casas: “Teletransportamos átomos, pero estamos muy lejos de lograrlo con personas”

El BSC, seleccionado para acoger uno de los primeros ordenadores cuánticos europeos

Mateo Valero: La supercomputación, la herramienta del futuro

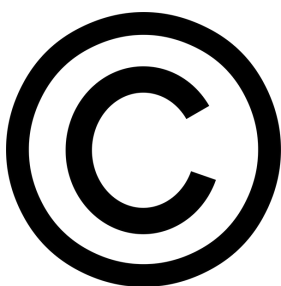
La computación cuántica que viene

El Ministerio de Ciencia e Innovación destina 54 millones de euros al Plan Complementario de Comunicación Cuántica para reforzar la ciberseguridad a través de la I+D+I

AMETIC analiza el impacto de las tecnologías cuánticas en las compañías españolas

Un consorcio liderado por GMV impulsa la investigación de la aplicación de la IA en la cadena de producción agroalimentaria

La UIMP y el CSIC ofrecen un nuevo ‘Máster en Tecnologías Cuánticas’



Informe realizado por la **Asociación de Parques Científicos y Tecnológicos de España (APTE)**, entidad que gestiona la secretaría técnica de la **Plataforma Tecnológica Española de Tecnologías Disruptivas (DISRUPTIVE)** con la colaboración de su **grupo de trabajo de computación cuántica** durante el último trimestre de 2022



Con financiación de:



Convocatoria 2020 Plataformas Tecnológicas y de Innovación (PTR2020-001159)

Secretaría técnica a cargo de:

