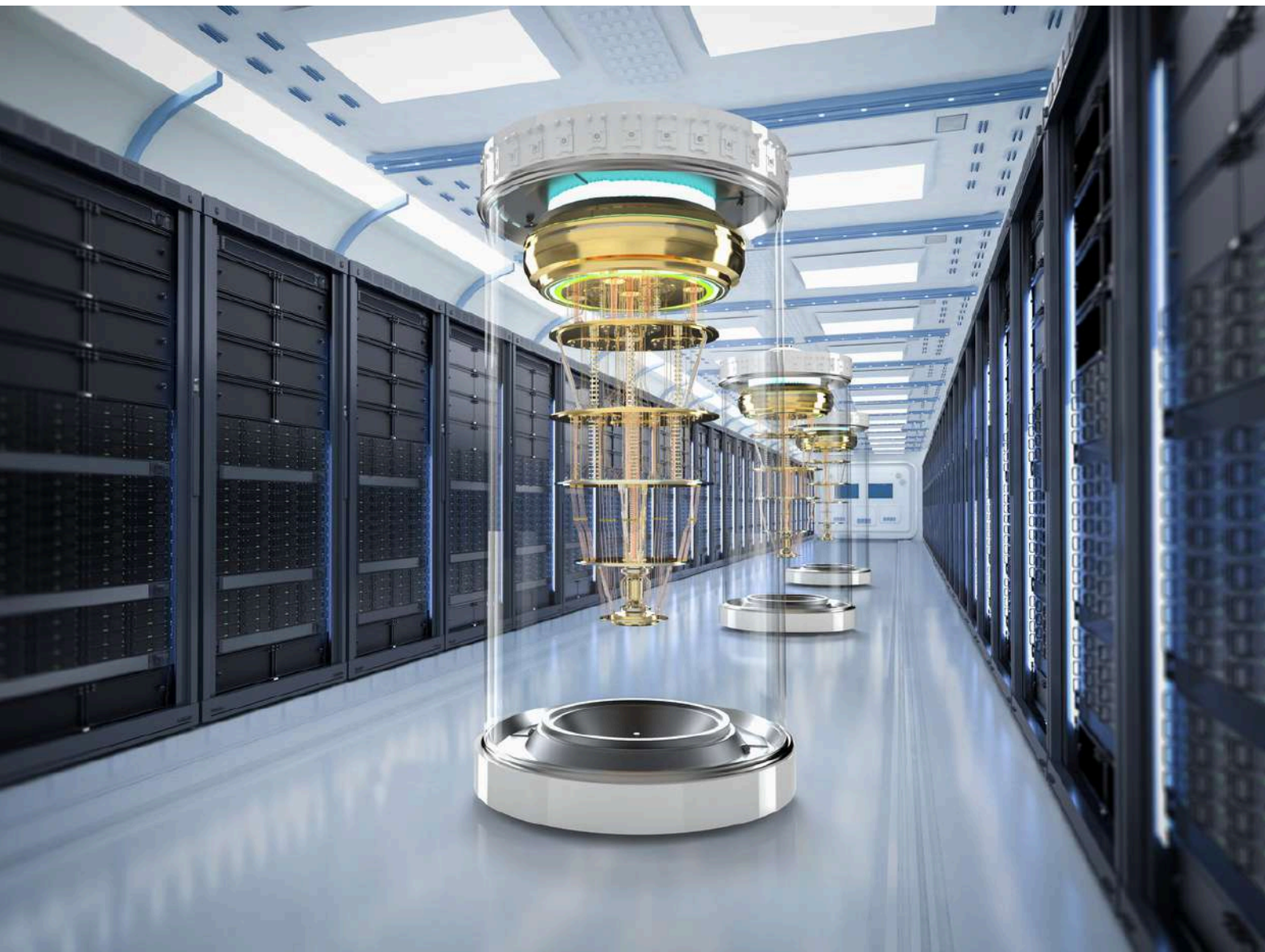


COMPUTACIÓN CUÁNTICA



INFORME DE SITUACIÓN 2024



Plataforma Tecnológica Española
de Tecnologías Disruptivas

Ayuda PTR2022-001305 financiada por:



Secretaría técnica a cargo de:



ÍNDICE

Introducción	_____	03
Aplicaciones actuales	_____	05
Ecosistema	_____	08
Retos y oportunidades	_____	13
Prospectiva	_____	17
Casos de uso	_____	20
Enlaces de interés	_____	26

INTRODUCCIÓN

En 2024, España se afianza como un actor clave en el escenario global de la computación cuántica, avanzando con firmeza en el desarrollo de tecnologías cuánticas y reforzando su infraestructura científica. Después del hito que supuso en años anteriores la integración del ordenador cuántico EuroHPC en el Barcelona Supercomputing Center y su conexión con MareNostrum 5, 2024 ha sido testigo de un crecimiento exponencial en este ámbito, con la continua evolución de la iniciativa Quantum Spain. Esta estrategia, respaldada por el Gobierno español, sigue impulsando la investigación y el desarrollo de la computación cuántica, con un enfoque claro hacia el fortalecimiento del liderazgo nacional en esta tecnología disruptiva.

Uno de los eventos más significativos del año ha sido el avance en criptografía cuántica, un área crítica para garantizar la seguridad digital en un mundo post-cuántico. Con la participación activa de organismos como el CCN-CERT y el CNI, España ha estado a la vanguardia en la adopción de nuevas medidas de seguridad resistentes a la computación cuántica, alineándose con los estándares internacionales. Además, la competencia en comunicación cuántica ha crecido de forma notable, con avances que están siendo monitoreados de cerca por grandes potencias como China y Rusia, que buscan desarrollar tecnologías similares.

En el ámbito académico y empresarial, 2024 ha sido testigo del fortalecimiento del ecosistema cuántico español, con startups como Qilimanjaro recibiendo importantes reconocimientos internacionales. A nivel global, España ha destacado como un punto de referencia en la investigación de ordenadores cuánticos y el desarrollo de aplicaciones prácticas, consolidándose como un centro de innovación en este campo.

Finalmente, el panorama cuántico en España refleja un año de transformación y posicionamiento estratégico. A medida que las capacidades cuánticas avanzan, el país continúa no solo adoptando, sino contribuyendo significativamente al desarrollo de estándares globales, situándose como un líder indiscutible en la carrera hacia la era cuántica.

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

En 2024, España ha continuado su expansión en el desarrollo y adopción de aplicaciones cuánticas, consolidándose como un referente en la investigación e implementación de esta tecnología disruptiva. Tanto el sector público como privado han intensificado sus esfuerzos, logrando avances notables en diversas áreas de la economía y la ciencia. A continuación, se destacan algunas de las principales aplicaciones de la computación cuántica en España durante el año 2024:

- **Optimización y Logística:**

Empresas tecnológicas y de transporte continúan aplicando algoritmos cuánticos para optimizar sus operaciones. En 2024, compañías españolas han avanzado en la utilización de estos algoritmos para la gestión del tráfico aéreo y marítimo, mejorando significativamente la eficiencia en la planificación de rutas y en la distribución de mercancías. Estos avances han generado un ahorro considerable en términos de costos y han mejorado la sostenibilidad de sus operaciones.

- **Criptografía y Seguridad:**

En un contexto global donde la criptografía cuántica se vuelve esencial para la seguridad digital, España ha dado grandes pasos. Las instituciones financieras y tecnológicas están implementando sistemas de cifrado cuántico para proteger transacciones y datos sensibles frente a posibles amenazas cuánticas. En particular, el CCN-CERT y otras entidades han colaborado para desarrollar herramientas de protección avanzadas que aseguren la confidencialidad en el nuevo paradigma post-cuántico.

- **Simulaciones Químicas y Materiales Avanzados:**

La simulación de materiales y moléculas complejas ha dado un salto cualitativo en 2024, con ordenadores cuánticos permitiendo modelar estructuras moleculares con mayor precisión que nunca. Investigadores en España, apoyados por empresas como Repsol y el ICFO (Instituto de Ciencias Fotónicas), están liderando proyectos para el desarrollo de nuevos catalizadores y materiales avanzados con aplicaciones en la energía renovable y la industria química.

- **Investigación Biomédica:**

Los avances en la investigación farmacéutica no han cesado en 2024. La computación cuántica está ayudando a modelar interacciones biomoleculares complejas, lo que ha acelerado el descubrimiento de medicamentos en fases tempranas de desarrollo. Laboratorios y startups biotecnológicas españolas están a la vanguardia en el uso de ordenadores cuánticos para analizar estructuras proteicas, con el fin de encontrar tratamientos más eficientes contra enfermedades complejas.

- **Inteligencia Artificial Cuántica:**

El campo de la inteligencia artificial ha sido otro ámbito en el que la computación cuántica ha mostrado un potencial impresionante. En 2024, se han desarrollado modelos más avanzados de machine learning que aprovechan la potencia de los ordenadores cuánticos para mejorar la precisión en la predicción de grandes volúmenes de datos. Estas innovaciones están siendo aplicadas en áreas que van desde la personalización de servicios digitales hasta la mejora de la seguridad cibernética y la detección de fraudes.

- **Finanzas y Modelado de Riesgos:**

El sector financiero en España ha profundizado en la adopción de soluciones cuánticas para la optimización de carteras y la evaluación de riesgos. En 2024, los bancos más innovadores han comenzado a implementar algoritmos cuánticos para simular escenarios económicos y gestionar riesgos con una precisión sin precedentes, lo que les permite obtener una ventaja competitiva en el mercado global.

- **Comunicación Cuántica:**

La comunicación cuántica ha experimentado avances significativos en 2024, tanto a nivel nacional como internacional. Investigadores españoles han colaborado en proyectos globales que buscan establecer las bases para una futura red de internet cuántico. Se han logrado avances en la transmisión segura de información cuántica mediante redes de fibra óptica y fotones, que garantizan la protección contra interceptaciones, con aplicaciones cruciales para sectores como el financiero, la defensa y las telecomunicaciones.

- **Desarrollo de Software Cuántico:**

El software cuántico se ha convertido en un área de creciente importancia en 2024, facilitando el acceso a los ordenadores cuánticos y optimizando el uso de esta tecnología. Startups tecnológicas españolas, junto con grandes empresas de software, están

desarrollando plataformas de programación cuántica que permiten a investigadores y empresas probar y ejecutar algoritmos cuánticos con mayor facilidad. Estos avances están abriendo nuevas posibilidades en áreas como la simulación de fenómenos físicos y la optimización de procesos industriales.

- **Energía y Sostenibilidad:**

En el sector energético, la computación cuántica está ayudando a mejorar la gestión de redes de distribución eléctrica y la optimización de fuentes renovables. Empresas como Iberdrola están explorando el uso de algoritmos cuánticos para prever la producción de energía eólica y solar de manera más precisa, mejorando la eficiencia energética y reduciendo las emisiones de carbono. La simulación cuántica también está siendo utilizada para desarrollar nuevos materiales que mejoren la eficiencia en el almacenamiento de energía.

- **Defensa y Seguridad Nacional:**

El uso de la computación cuántica en el ámbito de la defensa ha cobrado relevancia en 2024. Instituciones como el Ministerio de Defensa español están investigando aplicaciones cuánticas para mejorar las capacidades de cifrado y la protección de datos sensibles. Además, los avances en la criptografía cuántica están siendo considerados clave para proteger las comunicaciones militares y la infraestructura crítica de ciberataques en un mundo post-cuántico.

Las aplicaciones actuales de la computación cuántica en España en 2024 muestran un ecosistema robusto y en expansión, con iniciativas que abarcan desde la seguridad y la inteligencia artificial hasta la biotecnología, la energía, y la defensa. Estas aplicaciones no solo están mejorando la competitividad de empresas y sectores clave, sino que están posicionando a España como un líder en la adopción y desarrollo de tecnologías cuánticas en el panorama global.

ECOSISTEMA

En 2024, el ecosistema de la computación cuántica en España ha continuado evolucionando y consolidándose, reafirmando el papel del país como uno de los líderes europeos en esta tecnología emergente. Diversos actores, desde instituciones académicas hasta startups y grandes corporaciones, han intensificado su colaboración para llevar la investigación cuántica a nuevas alturas, mientras que el apoyo gubernamental sigue siendo un motor clave para la expansión del sector.

Instituciones Académicas y Centros de Investigación:

1. Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA):

CESGA ha seguido desempeñando un papel fundamental en la infraestructura cuántica de España. En 2024, ha avanzado en el uso de simuladores cuánticos para resolver problemas complejos de materiales y ha colaborado activamente con startups locales para llevar sus investigaciones al sector industrial.

2. Barcelona Supercomputing Center (BSC):

El BSC ha mantenido su relevancia dentro del ecosistema cuántico, especialmente con la plena integración del ordenador cuántico EuroHPC en MareNostrum 5. Este hito ha permitido que España forme parte de la vanguardia de la computación cuántica en Europa, proporcionando a investigadores y empresas acceso a capacidades computacionales de última generación.

3. Universidad de Castilla - La Mancha (UCLM)

La Universidad de Castilla - La Mancha (UCLM) ha reforzado su compromiso con la computación cuántica a través de una serie de iniciativas que destacan por su alcance e impacto. Entre sus esfuerzos más relevantes se encuentra el desarrollo de un entorno de programación multiplataforma, equipado con un emulador de computación cuántica compatible con el estándar OpenQASM, una herramienta que ha facilitado el acceso y la experimentación en este campo, tanto para investigadores como para estudiantes.

La UCLM también ha dedicado su 36º Curso de Verano, organizado por el Departamento de Sistemas Informáticos, a la exploración de las aplicaciones de la computación cuántica en la academia y la empresa. Este evento se ha consolidado como un espacio clave para el intercambio de conocimientos y la conexión entre especialistas del ámbito académico e industrial. Además, la universidad ofrece un curso anual introductorio en computación cuántica en colaboración con QSpain, una iniciativa diseñada para introducir a estudiantes y profesionales en esta tecnología emergente, facilitando su familiarización con los conceptos y aplicaciones clave del área. Por otro lado, la promoción de trabajos académicos en este campo ha sido notable. Desde tesis doctorales hasta trabajos de fin de máster (TFM) y de grado (TFG), la UCLM ha enfocado sus esfuerzos en áreas fundamentales como la teoría de la información cuántica, la algorítmica cuántica y las simulaciones, fomentando el avance del conocimiento y la innovación.

4. Universidad de Málaga (UMA)

La Universidad de Málaga ha lanzado nuevas iniciativas para destacar sus avances en computación cuántica, entre las que se incluye la presentación de Quant.UMA, un programa liderado por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática para fomentar la investigación y la formación en este campo. Además, la UMA ha organizado el Curso de Extensión Universitaria en Computación Cuántica, dirigido a ampliar los conocimientos técnicos y aplicados de esta tecnología entre estudiantes y profesionales.

5. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

La UPC ha continuado liderando el avance de la computación cuántica en Cataluña. En 2024, ha lanzado su Postgrado en Ingeniería Cuántica a través de la UPC School – Barcelona, una iniciativa que combina formación avanzada y orientación práctica para preparar a expertos en este campo emergente. Asimismo, ha puesto en marcha la Catalonia Quantum Academy, una plataforma educativa diseñada para fomentar el talento cuántico en la región, consolidando a Cataluña como un epicentro de innovación cuántica en Europa.

Empresas Tecnológicas y Startups:

1. Multiverse Computing

Con sede en San Sebastián, Multiverse Computing sigue liderando el desarrollo de soluciones cuánticas aplicadas al sector financiero. En 2024, la empresa ha ampliado su alcance, optimizando carteras de inversión y mejorando la gestión de riesgos

financieros mediante el uso de algoritmos cuánticos. Estos avances han consolidado su posición como líder mundial en aplicaciones financieras cuánticas.

2. Qilimanjaro Quantum Tech

La startup barcelonesa Qilimanjaro Quantum Tech ha destacado en 2024 como una de las más prometedoras de Europa, no solo por sus avances en accesibilidad cuántica, sino también por sus ambiciosas iniciativas. Entre ellas, la perspectiva de casos de uso prácticos para el mercado y los planes para el lanzamiento del primer centro de datos cuánticos con tecnología analógica en el sur de Europa han captado la atención internacional. Además, su enfoque en soluciones cuánticas en la nube permite a más empresas experimentar con esta tecnología sin grandes inversiones en hardware, lo que ha sido reconocido en múltiples eventos internacionales.

3. LuxQuanta

El spin-off del Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) ha avanzado en el ámbito de la criptografía cuántica, desarrollando claves cuánticas de variable continua para redes ópticas de alta velocidad. En 2024, esta tecnología ha reforzado la seguridad de las comunicaciones en España, consolidando al país como líder en ciberseguridad cuántica.

4. aQuantum

La empresa aQuantum ha experimentado un crecimiento significativo este año, lanzando herramientas de desarrollo de software cuántico que facilitan la transición de empresas hacia la computación cuántica. Además, su compromiso con la formación de talento ha sido esencial para cerrar la brecha de habilidades en este sector emergente en España.

5. Entanglement Partners

Con sede en Madrid, Entanglement Partners ha expandido sus servicios de consultoría, ayudando a sectores como la logística y el comercio minorista a integrar estrategias cuánticas en sus operaciones. Este enfoque ha sido crucial para fomentar la adopción de soluciones cuánticas en el ecosistema empresarial español.

6. Quantum Mads

Esta startup española ha ganado relevancia en 2024 al centrarse en el desarrollo de algoritmos cuánticos aplicados al sector energético. Sus soluciones están diseñadas para optimizar la producción y distribución de energía renovable, contribuyendo a la eficiencia energética y la reducción de emisiones de carbono.

7. Quantum Motion

Quantum Motion ha avanzado en el desarrollo de qubits superconductores, trabajando en colaboración con centros de investigación internacionales para crear hardware cuántico más estable. En 2024, la startup ha asegurado importantes inversiones para escalar sus prototipos y acelerar su comercialización.

8. Quside

Con sede en Barcelona, Quside se especializa en hardware cuántico para la generación de números aleatorios, una tecnología clave para la criptografía cuántica. Este año, sus productos han sido integrados en sistemas de seguridad avanzada, reforzando la ciberseguridad en entornos digitales.

9. Qiskit Advocate Program

En colaboración con IBM, esta comunidad cuántica en España ha sido esencial en la difusión de conocimientos sobre programación cuántica. En 2024, el programa ha formado a más de 500 nuevos desarrolladores, acelerando el crecimiento del talento cuántico en el país.

10. Itecam

Itecam ha ampliado su participación en el ecosistema cuántico con proyectos innovadores como Quorum, centrado en la creación de ecosistemas de computación cuántica, e i4camHub, que desarrolla pilotos demostradores para resolver problemáticas empresariales mediante IA y computación cuántica. Además, Itecam está explorando sinergias entre la computación cuántica y áreas como la criptografía y la optimización combinatoria.

11. CTIC

CTIC ha contribuido al ecosistema cuántico con el desarrollo de su simulador propio, QUTE, y la presentación de la red ARQA, diseñada para fomentar la innovación en aplicaciones de computación cuántica. También participa en proyectos de investigación avanzados, como ALCATARZ, que impulsan la experimentación cuántica en España.

12. Eviden

Eviden está liderando avances en computación cuántica híbrida, explorando cómo aplicar innovaciones en emulación y computación cuántica a entornos reales. Este enfoque busca acelerar la adopción práctica de tecnologías cuánticas en sectores clave.

13. Qcentroid

Qcentroid ha destacado en 2024 con su plataforma QuantumOps, que combina herramientas de benchmarking, orquestación e IA para simplificar y acelerar la experimentación cuántica. Esta plataforma ha reducido significativamente los tiempos de experimentación, pasando de meses a semanas, lo que refuerza su posición como un actor clave en el ecosistema cuántico.

Gobiernos y Entidades Públicas:

1. Quantum Spain:

En 2024, la iniciativa Quantum Spain ha seguido siendo el principal motor gubernamental para el desarrollo de la computación cuántica en el país. Con una inversión creciente que ahora supera los 60 millones de euros, el Gobierno ha continuado apoyando proyectos de investigación y fomentando la creación de un ecosistema que permita a startups y empresas más grandes experimentar y desarrollar soluciones cuánticas.

2. Centro Criptológico Nacional (CCN-CERT):

El CCN-CERT ha seguido liderando la implementación de estándares de seguridad post-cuántica, colaborando con empresas tecnológicas y universidades para garantizar que España esté preparada ante las nuevas amenazas cibernéticas que la computación cuántica puede plantear.

Fondos de Inversión y Startups en Crecimiento:

1. Quantonation:

Este fondo de inversión, que tiene presencia en España, ha seguido invirtiendo activamente en startups de tecnología cuántica en 2024. Su enfoque en el deep tech ha permitido que empresas emergentes accedan a recursos financieros cruciales, acelerando el desarrollo de soluciones innovadoras en diversas áreas.

2. BeAble Capital:

Fondo especializado en deep tech, ha aumentado su presencia en el sector cuántico en 2024 invirtiendo en startups como Quantum Mads y Quside, acelerando el desarrollo de nuevas tecnologías que permitirán a España seguir a la vanguardia en el campo cuántico.

Proyectos, Foros y Eventos:

1. Proyecto QUORUM

Liderado por Gradient, Fujitsu y el Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA), tiene como objetivo impulsar el ecosistema de tecnologías cuánticas en España. Esta iniciativa, financiada por el Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (CDTI) a través de los fondos europeos Next Generation EU y el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, busca generar conocimiento en el ámbito de la computación cuántica y sus aplicaciones, facilitando la transferencia de este conocimiento al sector empresarial. El consorcio de QUORUM está compuesto por diversas entidades de distintas regiones de España, incluyendo Galicia, Andalucía, Castilla-La Mancha, el País Vasco y Madrid. Entre sus miembros se encuentran el CESGA, la multinacional japonesa Fujitsu, la Agencia Gallega de Innovación (GAIN), los centros tecnológicos GRADIANT y FIDESOL, la startup tecnológica QCentroid y el Centro Tecnológico Industrial de Castilla-La Mancha (Itecam).

Las líneas de trabajo de QUORUM se centran en la investigación y desarrollo de aplicaciones cuánticas, así como en la creación de contenido formativo accesible para diferentes sectores empresariales. La iniciativa también busca establecer una red colaborativa de innovadores para potenciar el avance y la implementación de tecnologías cuánticas en el país.

El proyecto se presentó oficialmente durante la "International Quantum Business Conference" celebrada en Santiago de Compostela, donde se iniciaron las actividades correspondientes a los distintos paquetes de trabajo de QUORUM.

En resumen, QUORUM representa un esfuerzo conjunto de múltiples entidades para posicionar a España como un referente en el desarrollo y aplicación de tecnologías cuánticas, fomentando la innovación y la colaboración entre el sector público y privado.

2. QUANTUMatter 2024:

El congreso internacional QUANTUMatter, celebrado en Madrid en junio de 2024, ha reunido a más de 500 participantes de todo el mundo, consolidándose como el evento cuántico más importante de España. En este foro, se discutieron los últimos avances en hardware cuántico, criptografía y aplicaciones en la industria, lo que ha ayudado a fortalecer la red de colaboración entre startups, grandes corporaciones, e instituciones académicas.

El ecosistema cuántico en España en 2024 ha seguido evolucionando de manera notable, con avances significativos en colaboración, desarrollo tecnológico y acceso a recursos clave. Las startups cuánticas españolas continúan creciendo y captando la atención internacional, mientras que las instituciones académicas y el apoyo gubernamental aseguran que España permanezca a la vanguardia en el ámbito de la computación cuántica. El país ha creado un entorno propicio para la innovación, y la participación activa en eventos globales y foros de colaboración sigue siendo esencial para su crecimiento sostenido.

RETOS Y OPORTUNIDADES

En 2024, la computación cuántica en España ha seguido avanzando a un ritmo acelerado, pero enfrenta desafíos importantes que requieren una estrategia clara para ser superados. Al mismo tiempo, estas dificultades ofrecen oportunidades valiosas para que España continúe posicionándose como un líder en la adopción de esta tecnología disruptiva.

Retos:



Escasez de talento especializado:

La creciente demanda de expertos en computación cuántica ha dejado a España con una brecha significativa de talento cualificado. Este año, la necesidad de profesionales capacitados en física cuántica, programación cuántica y desarrollo de hardware cuántico ha aumentado, pero la oferta educativa aún no satisface esta demanda.

La creación de programas educativos específicos y colaboraciones entre universidades y empresas puede impulsar la formación de nuevos expertos. Además, España tiene la oportunidad de atraer talento internacional mediante incentivos y proyectos de investigación punteros en colaboración con centros de investigación globales.



Financiación e Inversiones:

A pesar del respaldo gubernamental, la computación cuántica sigue siendo un área intensiva en capital, lo que significa que mantener un flujo continuo de inversión es un reto clave. Muchas startups emergentes y proyectos de investigación se enfrentan a la incertidumbre de financiación a largo plazo.



Financiación e Inversiones:

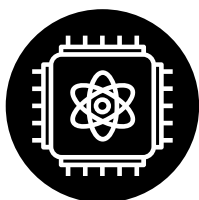
España tiene el potencial de atraer inversiones internacionales y fomentar una mayor colaboración entre el sector público y privado. El interés creciente en compañías españolas como Qilimanjaro, reconocida a nivel internacional, puede servir como catalizador para atraer capital extranjero y garantizar la continuidad de proyectos innovadores.



Maduración tecnológica:

El desarrollo de qubits estables y escalables sigue siendo un desafío global, y España no es la excepción. Aunque se han logrado avances en simulaciones cuánticas y en algoritmos, la capacidad de llevar estos desarrollos a aplicaciones prácticas escalables aún enfrenta limitaciones técnicas.

Continuar invirtiendo en I+D permitirá a España superar estas barreras. Las colaboraciones con centros de investigación europeos y la creciente participación en iniciativas de la UE, como el Quantum Flagship, podrían proporcionar el apoyo necesario para desarrollar soluciones que permitan mejorar la estabilidad y fiabilidad de los sistemas cuánticos.



Desarrollo de un ecosistema cuántico integrado:

A pesar del crecimiento del ecosistema cuántico en España, existe la necesidad de una mayor integración entre la academia, las startups y las grandes empresas. El flujo de conocimiento y colaboración tecnológica sigue siendo fragmentado, lo que ralentiza la innovación y adopción de nuevas tecnologías. España puede aprovechar las plataformas de colaboración a nivel nacional como Disruptive que cuenta con un grupo de trabajo en computación cuántica.

Además, a nivel internacional, también puede aprovechar la oportunidad que le brinda la conferencia internacional QUANTUMatter que cada año busca conectar a profesionales, investigadores y líderes de opinión involucrados en la ciencia de la información y los materiales cuánticos.



Seguridad cuántica y ciberseguridad:

Con la inminente llegada de la computación cuántica comercial, las actuales infraestructuras de seguridad digital corren el riesgo de quedar obsoletas. La amenaza de que la computación cuántica pueda romper los algoritmos de cifrado actuales plantea un desafío urgente para la seguridad cibernética en España.

Existe la posibilidad de liderar el desarrollo de estándares de seguridad cuántica, tanto a nivel europeo como internacional. Organismos como el CCN-CERT están bien posicionados para tomar la delantera en la creación de soluciones de criptografía post-cuántica, que protejan infraestructuras críticas en sectores como finanzas, defensa y telecomunicaciones.

Oportunidades:



Liderazgo en innovación cuántica:

En 2024, España tiene una oportunidad única de posicionarse como un referente en computación cuántica, no solo a nivel europeo, sino también global. Las colaboraciones con entidades como el Quantum Flagship y los avances en el Barcelona Supercomputing Center han puesto al país en el mapa de la innovación cuántica, atrayendo interés internacional y potenciando la competitividad.



Aplicaciones en sectores estratégicos:

Sectores como la energía, la biotecnología y las finanzas están viendo un impacto directo de la computación cuántica. En el sector energético, empresas como Iberdrola están explorando cómo los algoritmos cuánticos pueden optimizar la distribución de energía renovable. En biotecnología, los avances en simulación molecular están acelerando el descubrimiento de medicamentos. Estas aplicaciones brindan a España una ventaja competitiva en la adopción temprana de esta tecnología.



Sostenibilidad y eficiencia energética:

La computación cuántica tiene el potencial de revolucionar la gestión de recursos energéticos. En 2024, la tecnología cuántica ha comenzado a utilizarse para optimizar las redes eléctricas y mejorar la predicción de producción de energía renovable, lo que podría contribuir significativamente a la transición energética del país y a la reducción de emisiones de carbono.



Colaboración internacional y transferencia de conocimiento:

España ha fortalecido su participación en consorcios internacionales dedicados a la computación cuántica. Estas colaboraciones brindan acceso a investigaciones avanzadas y permiten la transferencia de conocimiento que puede acelerar el desarrollo de la tecnología cuántica en el país. Asociarse con países líderes en este campo también posiciona a España como un actor clave en los próximos desarrollos globales.



Educación y Concienciación Pública

En 2024, la educación y la concienciación sobre los beneficios y aplicaciones de la computación cuántica son más importantes que nunca. Desarrollar programas educativos que preparen a la próxima generación de científicos y tecnólogos cuánticos es esencial para garantizar el éxito a largo plazo. Además, promover la comprensión de la computación cuántica entre el público y los líderes empresariales facilitará su adopción en diferentes sectores.

En 2024, los retos y las oportunidades en torno a la computación cuántica en España son complejos, pero ofrecen un camino claro para que el país consolide su liderazgo en este campo. Con el desarrollo de talento, la inversión sostenida y el fortalecimiento de su ecosistema cuántico, España puede superar estos obstáculos y convertirse en un pilar clave en la revolución cuántica global.

PROSPECTIVA

La industria de la computación cuántica ha alcanzado en 2024 un nivel de madurez notable, impulsada por fusiones, adquisiciones y, en algunos casos, quiebras de empresas. Estos movimientos corporativos reflejan una evolución que ha dejado atrás el ámbito exclusivo de laboratorios y universidades, convirtiéndose en una industria con presencia en los mercados financieros. Empresas cuánticas que cotizan en bolsa y una competencia creciente son indicios claros de que la computación cuántica está entrando en una fase de consolidación, en la que se anticipa que funcione como tecnología auxiliar para optimizar y complementar otras tecnologías clave, incluyendo blockchain, inteligencia artificial generativa, Big Data y redes 5G.

En el ámbito europeo y español, la computación cuántica enfrenta una situación particular. En España, las 17 comunidades autónomas compiten entre sí por posicionarse como centros destacados de esta tecnología emergente. Aunque regiones como Vizcaya, Galicia y Barcelona lideran en iniciativas cuánticas, otras comunidades, como Andalucía, Canarias, Madrid y Extremadura, se están sumando con proyectos ambiciosos. A nivel nacional, la falta de una estrategia unificada es un desafío, y el mismo fenómeno se observa en Europa. Cada país europeo sigue su propia estrategia sin un marco común claro, a diferencia de potencias tecnológicas en otros continentes, que cuentan con mayores inversiones en el ámbito cuántico. Alemania, Francia, Reino Unido, Suiza y los países nórdicos han desarrollado industrias cuánticas potentes, pero la falta de cohesión entre las iniciativas nacionales plantea un reto para competir frente a países con políticas y recursos de inversión más centralizados. Mario Draghi ha señalado la urgencia de una reindustrialización en Europa, en la que las tecnologías cuánticas jugarán un papel crucial, ya que su potencial podría determinar la competitividad de los países europeos en los próximos años.

Uno de los desafíos clave de la computación cuántica reside en la diversidad de tecnologías disponibles para realizar cálculos cuánticos. Actualmente, existen de 14 a 15 enfoques tecnológicos diferentes, cada uno desarrollado por múltiples empresas que buscan crear su propio ordenador cuántico.

Este ecosistema variado refleja una industria aún en exploración, donde no existe un enfoque dominante. Cada tecnología, ya sea mediante anillamiento digital, anillamiento analógico o el uso de puertas cuánticas, se especializa en resolver ciertos tipos de problemas. En España, startups como Qilimanjaro en Barcelona están experimentando con tecnologías propias y avanzadas, reflejando la diversidad de enfoques en el mercado cuántico. Mientras tanto, en Europa cada país cuenta con dos o tres fabricantes que desarrollan tecnologías variadas, sin un claro ganador entre ellas.

La computación cuántica promete aplicaciones de amplio alcance para prácticamente todas las industrias. Se han observado casos de éxito en los sectores financiero, logístico, médico, farmacéutico y de defensa. Además, la computación cuántica presenta ventajas medioambientales significativas, pues sus requerimientos energéticos son considerablemente menores en comparación con los sistemas tradicionales de alto rendimiento (HPC) para machine learning. Se proyecta que el 15% de la energía global en los próximos años se destinará a modelos de inteligencia artificial, y el uso de computación cuántica para optimizar estos procesos reduciría el consumo de recursos naturales y de electricidad, contribuyendo a la sostenibilidad.

En cuanto a la ciberseguridad, la computación cuántica también aporta beneficios. Aunque en sus inicios se temió que pudiera comprometer la seguridad de los sistemas de criptografía actuales, ya existen estándares de criptografía post-cuántica que son resistentes a ataques de ordenadores cuánticos. Estos nuevos protocolos, que han comenzado a implementarse, permiten una transición segura hacia la era cuántica sin que los usuarios finales noten cambios en sus aplicaciones, como las de banca en línea. Estos desarrollos de ciberseguridad avanzados, invisibles para el usuario, están en constante evolución para garantizar que la computación cuántica no comprometa la seguridad de los datos en el futuro.

Los sectores que muestran mayor potencial de adopción de la computación cuántica incluyen la logística, el modelado molecular y las finanzas. En logística, los algoritmos cuánticos permiten optimizar desde la carga y distribución de camiones hasta la previsión de demandas, mejorando la respuesta y eficiencia en la cadena de suministro. El modelado molecular también experimenta avances significativos gracias a la capacidad de los ordenadores cuánticos para simular la naturaleza a nivel cuántico. Esto abre oportunidades en la industria farmacéutica, la detección y prevención de enfermedades,

el desarrollo de biocombustibles y materiales innovadores. El sector financiero es otro ámbito clave, en el que se han lanzado productos de computación cuántica aplicados a mercados globales. Un ejemplo de esta tendencia es el reciente lanzamiento de Quantum for Finance Studio, un producto de Mudis Analytics en colaboración con tecnología de Qcentroid y algoritmos desarrollados por Multiverse Computing. Este producto, el primero de su tipo a nivel mundial, permite a bancos y clientes de Mudis en todo el mundo utilizar tecnología española para resolver problemas financieros complejos mediante la computación cuántica.

En conjunto, la computación cuántica se presenta en 2024 como una tecnología prometedora que transformará industrias clave, mejorará la eficiencia energética y brindará soluciones avanzadas en seguridad. La necesidad de una estrategia unificada en Europa y España para competir en este mercado es cada vez más evidente, y el avance en aplicaciones y adopción posiciona a la computación cuántica como una herramienta esencial para el futuro de la economía global

CASOS DE USO

El 2024 ha marcado un año crucial para el avance de la Computación Cuántica en España, con nuevos desarrollos tecnológicos y normativos que buscan integrar a todas las personas en la era digital.

1. Casos de Uso en Logística



Optimización de Rutas y Redes de Transporte

Volkswagen utilizó la computación cuántica para optimizar rutas de tráfico en Lisboa, aplicando algoritmos de optimización cuántica para reducir la congestión de tráfico en tiempo real. El proyecto se realizó en colaboración con D-Wave utilizando su sistema de quantum annealing. Logró una mejora en la fluidez del tráfico en rutas congestionadas y demostró la viabilidad de optimización en problemas de rutas.



Optimización de Redes de Suministro

DHL exploró cómo la computación cuántica puede ayudar a optimizar rutas en su red de logística y distribución, permitiendo una gestión más eficiente de las entregas. Aunque en fase experimental, DHL ha visto potencial para reducir costos y optimizar tiempos de entrega mediante el análisis y optimización de rutas complejas.

2. Casos de Uso en Finanzas



Optimización de Portfolios

BBVA, en colaboración con Fujitsu, trabajó en un proyecto para explorar el uso de algoritmos cuánticos en la optimización de carteras de inversión. Utilizaron un simulador de computación cuántica para mejorar la distribución de activos en función de riesgos y rendimientos. : Esta investigación permitió identificar nuevas formas de optimizar la distribución de activos en carteras complejas, logrando mejores rendimientos en simulaciones comparadas con algoritmos clásicos.



Valoración de Derivados

Goldman Sachs y la startup cuántica QC Ware utilizaron un algoritmo cuántico para acelerar las simulaciones de Monte Carlo aplicadas en la valoración de derivados financieros. Esta colaboración probó la viabilidad de usar computación cuántica para reducir el tiempo de cálculo en problemas complejos de valoración. El uso de simulaciones cuánticas podría reducir el tiempo necesario para calcular el valor de derivados complejos, mejorando la velocidad y precisión en la toma de decisiones



Detección de Fraude

JPMorgan Chase investiga cómo los algoritmos de aprendizaje automático cuántico pueden mejorar la precisión en la detección de fraude, analizando patrones complejos en transacciones y logrando una detección más eficiente. Mejora en la precisión y reducción de falsos positivos, lo cual facilita la detección de fraude en tiempo real en sistemas de alta complejidad.



SINGULARITY – Optimización de carteras de inversión

La optimización de una cartera es la tarea de seleccionar la mejor distribución de activos que optimice alguna función objetivo determinada por el cliente. Normalmente, intenta maximizar los rendimientos esperados y minimizar el riesgo financiero durante un período consecutivo (días) para maximizar el rendimiento general al final del período. Utilizando la herramienta de optimización en SINGULARITY, los inversores pueden construir carteras optimizadas (en casos entre más de 2.000 inversiones potenciales) mientras se adhieren a las preferencias de un inversor, como un límite en la inversión máxima permitida en cada activo, bandas de inversión individualizadas por activo y un nivel objetivo de riesgo para el portafolio.

La herramienta utiliza el solucionador SINGULARITY, un enfoque híbrido cuántico-clásico adaptado específicamente al problema de optimización de carteras, que permite a los inversores aprovechar el poder de la computación cuántica al alcance de su mano. En cuestión de segundos, SINGULARITY proporciona las asignaciones de cartera óptimas que brindan los máximos rendimientos esperados y al mismo tiempo se adhieren a las preferencias únicas del inversor.

3. Casos de Uso en la Industria Farmacéutica



Simulación de Interacciones Proteína-Ligando

Estas simulaciones permiten diseñar medicamentos que interactúan de forma óptima con proteínas específicas, acelerando el proceso de descubrimiento y optimización de fármacos.



Descubrimiento de Fármacos

Roche y la empresa cuántica Cambridge Quantum Computing (CQC) colaboraron en un proyecto para explorar cómo la computación cuántica puede acelerar el descubrimiento de nuevos fármacos mediante simulaciones moleculares. El objetivo es modelar interacciones complejas entre moléculas de una manera que las computadoras clásicas no pueden lograr. La computación cuántica permite simulaciones más precisas de moléculas grandes, lo que acelera la identificación de compuestos efectivos y reduce el tiempo de desarrollo de nuevos medicamentos.



Simulación de Interacciones Proteína-Ligando

Pfizer ha estado explorando cómo la computación cuántica puede simular las interacciones entre proteínas y ligandos para mejorar el diseño de medicamentos, utilizando sistemas cuánticos para realizar simulaciones que ayudarían a entender mejor estas interacciones a nivel molecular.

Industrias Beneficiadas Quantum Computing



Logística y Cadena de Suministro

- Optimización de Rutas: Mejora de rutas de distribución y entrega en redes de transporte, minimizando tiempos y costos.
- Gestión de Inventarios: Optimización de la cantidad y ubicación de inventarios para reducir costos de almacenamiento y mejorar la eficiencia.



Logística y Cadena de Suministro

- Planificación de Producción: Asignación óptima de recursos en plantas de manufactura para maximizar la productividad y minimizar tiempos de inactividad.



Finanzas y Banca

- Optimización de Portafolios: Selección de combinaciones óptimas de activos en una cartera para maximizar rendimientos y minimizar riesgos.
- Valoración de Derivados: Cálculo de precios de opciones y derivados financieros complejos que dependen de múltiples variables de mercado.
- Gestión de Riesgos: Análisis de grandes volúmenes de datos financieros para identificar y mitigar riesgos de inversión de manera más precisa



Energía y Servicios Públicos

- Optimización de Redes Eléctricas: Distribución óptima de la energía en redes eléctricas para minimizar pérdidas y balancear la carga en tiempo real.
- Predicción y Planificación de Demanda: Optimización del consumo de energía y recursos en función de la demanda prevista, especialmente útil para energías renovables que dependen de condiciones meteorológicas variables.
- Exploración y Producción de Recursos: Optimización en la extracción y procesamiento de recursos naturales, como petróleo o minerales, para maximizar eficiencia y reducir costos.



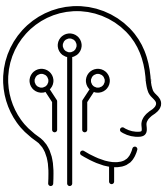
Automotriz y Transporte

- Diseño de Baterías y Materiales: Optimización de componentes de baterías y materiales de construcción en vehículos eléctricos, reduciendo costos y mejorando la eficiencia energética.
- Conducción Autónoma: Algoritmos de planificación de rutas y toma de decisiones en tiempo real para vehículos autónomos.



Automotriz y Transporte

- Optimización de Producción y Suministro: Mejoras en la logística de partes y ensamblaje de vehículos para maximizar la eficiencia en líneas de producción.



Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático

- Optimización de Hiperparámetros: Mejora en el entrenamiento de modelos de aprendizaje automático ajustando automáticamente parámetros clave para alcanzar el máximo rendimiento.
- Selección de Modelos y Arquitecturas: Identificación de modelos y arquitecturas óptimas en redes neuronales y modelos complejos.
- Entrenamiento en Redes Profundas: Aceleración del entrenamiento de modelos de IA mediante optimización de recursos computacionales y reducción de tiempo de entrenamiento.



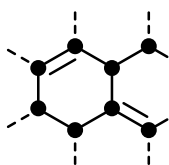
Sector de la Salud

- Optimización de Terapias Personalizadas: Personalización de tratamientos y terapias basadas en la optimización de datos genéticos y médicos de cada paciente.
- Gestión Hospitalaria: Optimización de recursos hospitalarios, como camas, personal y equipo, para mejorar la eficiencia y reducir tiempos de espera.
- Investigación Biomédica: Simulación y análisis de grandes cantidades de datos de estudios biomédicos para identificar patrones de enfermedades y optimizar el desarrollo de nuevos tratamientos.



Telecomunicaciones

- Optimización de Redes: Gestión de redes de comunicación para maximizar la eficiencia en el tráfico de datos y minimizar interrupciones o pérdidas de señal.
- Asignación de Recursos: Distribución óptima de espectro y recursos en redes móviles para maximizar la calidad de servicio.
- Optimización de Infraestructura: Planificación y optimización de la ubicación de antenas y otros componentes de infraestructura.



Química y Ciencia de Materiales

- Simulación de Reacciones Químicas: Simulación de interacciones moleculares para predecir el comportamiento de nuevas reacciones químicas o catalizadores.
- Diseño de Materiales: Optimización de estructuras moleculares para crear materiales con propiedades específicas (ej., mayor resistencia o conductividad).
- Desarrollo Farmacéutico: Simulación de moléculas para descubrir nuevos fármacos y analizar la interacción entre proteínas y compuestos químicos de forma eficiente.



Ciberseguridad

- Criptografía Cuántica: Desarrollo de algoritmos resistentes a ataques de computación cuántica, optimizando protocolos de encriptación para proteger datos.
- Detección de Fraude: Optimización de algoritmos para detectar patrones anómalos en transacciones, fortaleciendo la seguridad en tiempo real.
- Análisis de Redes Complejas: Optimización en el análisis de patrones y vulnerabilidades en redes de comunicación y sistemas de seguridad.

ENLACES DE INTERÉS

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

[Más datos, cloud y semiconductores: qué esperan de la tecnología en 2024 los expertos y directivos](#)

[Tecnologías que serán tendencia en 2024: más IA, alternativas a las 'cookies' y computación cuántica](#)

[El reto sobre comunicación cuántica que acaban de batir Rusia y China](#)

[Tecnologías cuánticas: el momento es ahora](#)

[Juan Ignacio Cirac: «La tecnología cuántica cambiará todo lo que nos rodea»](#)

[Cambio de Paradigma: de la era Digital a la Revolución Cuántica](#)

[La oportunidad de España con la tecnología cuántica: "Es una ocasión de oro"](#)

[Estos son los tres países y las cinco empresas que lideran la investigación en ordenadores cuánticos. Hay sorpresas](#)

[El estado actual de la computación cuántica](#)

[Importantes cambios en computación cuántica](#)

[Marta Estarellas, CEO de Qilimanjaro, mejor startup del 4YFN 2024: "Después de la IA, la computación cuántica será la siguiente gran tecnología"](#)

[La española Multiverse Computing capta 25 millones para disparar la eficiencia de ChatGPT con cuántica](#)

Misterios cuánticos en la España cuántica

Internet puede alcanzar unas velocidades increíbles gracias a la tecnología cuántica

Científicos españoles desarrollan un ordenador cuántico único en el mundo

2025, el año para promover la computación cuántica

El nuevo hito hacia el Internet cuántico: conectan dos nodos con partículas de luz usando la fibra óptica de Boston

La revolución de la tecnología cuántica: presente y futuro

El 90% de las empresas cree que la computación cuántica generará nuevas oportunidades en sus organizaciones, según IBM

El dilema entre el potencial de la computación cuántica y sus riesgos

- Quantum computing use cases are getting real—what you need to know
CQC, Roche Partner to Use Quantum Algorithms to Tackle Drug Discovery for Alzheimer's Disease

How Quantum Physics and AI is Disrupting Drug Discovery

JPMorgan Chase establishes quantum-secured crypto-agile network

- Quantum Speed-Up of Monte Carlo Simulation

- BBVA and Multiverse showcase how quantum computing could help optimize investment portfolio management

Quantum Computing Could Transform the Logistics Industry within the Next Decade

"Volkswagen optimizes traffic flow with quantum computers"

- Gradient, Fujitsu, y CESGA lideran el proyecto 'QUORUM' para impulsar el ecosistema en tecnologías cuánticas en España

Itecam se Une al Proyecto QUORUM para Impulsar el Ecosistema de Tecnología Cuántica en España



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 durante el último trimestre de 2024



Plataforma Tecnológica Española
de Tecnologías Disruptivas

Ayuda PTR2022-001305 financiada por:



Secretaría técnica a cargo de:

