



Análisis del ecosistema de las tecnologías cuánticas

Un enfoque en perspectiva regional: Europa, España, Comunidad de Madrid y País Vasco

QUORUM

By QCentroid

Index

Resumen ejecutivo	2
Justificación del enfoque analítico	4
1. Global	5
1.1 Perspectiva Global	5
1.2 Perspectiva OTAN	8
2. Europa	10
2.1 Excelencia científica sin liderazgo industrial	10
2.2 La arquitectura estratégica	10
2.3 El reto de ejecución: de la estrategia al mercado	12
3. España	13
3.1 La Estrategia Nacional de Tecnologías Cuánticas 2025-2030	13
3.2 Infraestructuras: una red distribuida integrada en Europa	14
3.3 Aplicaciones sectoriales y colaboración internacional	15
4. Comunidad de Madrid	17
4.1 Actores públicos	17
4.2 Actores privados y emprendimiento	19
4.3 Casos de uso sectoriales	25
4.4 Talento y formación	26
5. País Vasco	28
5.1 Actores públicos	30
5.2 Actores privados	33
5.3 Casos de uso sectoriales	40
5.4 Talento y formación	43

Resumen ejecutivo

El ecosistema de las tecnologías cuánticas está atravesando una transición estructural desde la investigación avanzada hacia una fase de industrialización temprana, marcada por una creciente competencia geopolítica, una mayor intervención pública y una progresiva orientación hacia aplicaciones estratégicas. A escala global, esta evolución está impulsada por tres dinámicas principales: la consolidación de la soberanía tecnológica como prioridad de Estado, la urgencia operativa de la transición a criptografía post-cuántica y la reorganización del sector en torno a métricas de utilidad práctica más exigentes que el simple recuento de cúbits. En este contexto, la OTAN y las principales potencias están incorporando las tecnologías cuánticas a sus agendas de seguridad, resiliencia e infraestructura crítica, reforzando la idea de que la cuántica ya no debe analizarse solo como frontera científica, sino como una tecnología de propósito estratégico con implicaciones industriales, económicas y defensivas.

Europa ocupa una posición singular dentro de este panorama. Su fortaleza principal reside en la excelencia científica, la densidad de empresas y la relevancia de su cadena de suministro, pero sigue afrontando una brecha persistente en capitalización, escalado y traducción de capacidades en liderazgo industrial. La Quantum Europe Strategy de 2025 responde precisamente a esta tensión, al proponer una arquitectura de actuación que conecta investigación, infraestructuras, ecosistema empresarial, tecnologías duales y talento bajo una lógica de soberanía tecnológica e industrialización. España se inserta en esta dinámica con una estrategia nacional relativamente ambiciosa, apoyada en una base científica ya consolidada y en una red distribuida de infraestructuras que la sitúan en una posición intermedia, pero competitiva, dentro del ecosistema europeo. La Estrategia Nacional de Tecnologías Cuánticas 2025–2030, junto con proyectos como Quantum Spain, EuroQCI y la instalación de nuevos sistemas cuánticos, sugiere que el país está avanzando desde una fase de creación de capacidades hacia una fase de articulación más coherente entre investigación, industria y aplicaciones.

Dentro de España, la Comunidad de Madrid y el País Vasco emergen como dos de los polos regionales más relevantes, aunque con perfiles distintos y complementarios. Madrid destaca por la densidad de su arquitectura pública, la fortaleza de sus universidades y centros de investigación, y un ecosistema empresarial especialmente activo en comunicaciones cuánticas, criptografía post-cuántica, telecomunicaciones y validación temprana de casos de uso. Euskadi, por su parte, ha construido una estrategia más concentrada y territorializada en torno a BasQ y

al IBM Quantum System Two, con una clara ambición de posicionarse como nodo europeo de computación cuántica avanzada y como plataforma para aplicaciones industriales en energía, materiales, IA y optimización. En ambos casos, la principal conclusión no es que exista ya un mercado cuántico maduro, sino que se está consolidando una fase de institucionalización regional de capacidades, en la que infraestructura, talento, gobernanza, actores tractores y primeros pilotos sectoriales empiezan a alinearse para preparar la adopción futura.

Justificación del enfoque analítico

Este informe adopta una perspectiva regional comparada porque el desarrollo de las tecnologías cuánticas ya no puede entenderse adecuadamente solo desde la escala global o nacional. Aunque las grandes dinámicas del sector se definen en marcos geopolíticos amplios – competencia entre bloques, soberanía tecnológica, estándares, defensa y capital – la capacidad real de traducir esas dinámicas en innovación, industria y adopción depende en gran medida de cómo se organizan los ecosistemas territoriales concretos. Por ello, el análisis se estructura en cuatro niveles – global, europeo, español y regional – con el fin de observar cómo las prioridades estratégicas descienden desde la política internacional hasta infraestructuras, actores, casos de uso y capacidades de talento en territorios específicos. Este enfoque permite identificar no solo tendencias generales, sino también mecanismos de ejecución, cuellos de botella y ventajas diferenciales allí donde realmente se produce la articulación entre investigación, política pública, empresa y mercado.

La elección de Europa, España, Comunidad de Madrid y País Vasco responde además a una lógica informada por la posición de QCentroid dentro del ecosistema cuántico europeo y por su implicación directa en debates sobre industrialización, adopción y estrategia. A ello se añade su trabajo continuado en colaboración con actores institucionales, científicos, corporativos y emprendedores de distintos niveles del ecosistema español, incluyendo entornos regionales especialmente relevantes como la Comunidad de Madrid y el País Vasco. Esa interacción sostenida con stakeholders territoriales permite observar de manera directa cómo se configuran las capacidades reales del sector más allá de las estrategias formales: qué tipo de infraestructuras se están activando, qué barreras persisten para la transferencia, cómo evolucionan los casos de uso, dónde se concentran las oportunidades de colaboración y qué diferencias aparecen entre ecosistemas regionales con estructuras, prioridades y grados de madurez distintos. Desde esta perspectiva, el análisis no responde solo a un interés descriptivo, sino a una lectura aplicada del desarrollo cuántico, orientada a comprender cómo se construye ventaja competitiva en la práctica y qué condiciones son necesarias para que la excelencia tecnológica se traduzca en impacto económico e institucional.

1. Global

1.1 Perspectiva Global

El contexto macroeconómico: de la investigación a la industrialización

Las tecnologías cuánticas han cruzado en 2025 un umbral decisivo: han dejado de ser objeto exclusivo de investigación básica para convertirse en prioridad estratégica de primer nivel con flujos de capital sin precedentes. El sector captó más de 1.250 millones de dólares solo en el primer trimestre de 2025, más del doble de los 550 millones del mismo período de 2024, lo que representa un crecimiento interanual del 128%. Los tres primeros trimestres acumularon 3.770 millones de dólares en financiación total, posicionando la computación cuántica como uno de los sectores de deep tech de mayor crecimiento a escala global.

El patrón de inversión revela además un cambio estructural en la naturaleza del capital. El modelo de financiación ha evolucionado desde el dominio del capital riesgo hacia un esquema híbrido: en 2024, el capital privado representó dos tercios de la inversión en startups cuánticas, mientras el sector público aportó el tercio restante. Esta convergencia entre interés privado y mandato gubernamental no es casual: el elevado ratio inversión-ingresos confirma que el gasto de 2025 no responde a demanda comercial existente, sino que se asigna estratégicamente a I+D de largo horizonte, construcción de infraestructuras y escalado precomercial con el objetivo de asegurar control fundacional sobre un sector proyectado a alcanzar entre 90.000 y 170.000 millones de dólares en valor de mercado para 2040.

La estructura geopolítica: tres modelos de desarrollo

La competencia global por el liderazgo cuántico no es uniforme. Cada potencia ha adoptado un modelo diferenciado que refleja sus ventajas comparativas y sus prioridades estratégicas, configurando lo que los analistas describen ya como un duopolio en formación entre EE.UU. y China.

Estados Unidos lidera en inversión privada e innovación ecosistémica. EE.UU. concentra 12.100 millones de dólares en inversión total acumulada y, aunque alberga solo el 24% de

las empresas cuánticas analizadas a escala global, estas han captado el 44% de toda la financiación del sector. La National Quantum Initiative y el CHIPS and Science Act definen el marco de soberanía tecnológica, mientras los National QIS Research Centers priorizan la fidelidad, la velocidad de puertas lógicas y la latencia de interconexión como métricas de utilidad práctica por encima del número bruto de qubits.

China opera bajo un modelo de capitalismo de Estado a gran escala orientado a la soberanía en comunicaciones. Con una inversión pública estimada en 15.000 millones de dólares, China lidera en comunicaciones cuánticas operando la mayor red del mundo, de 12.000 kilómetros, que incluye dos satélites cuánticos, y su enfoque dirigido por el Estado prioriza las aplicaciones estratégicas con palpables ventajas militares en criptología, comunicación y procesamiento de información. En 2025, esta apuesta se ha intensificado: China ha creado un fondo nacional de orientación de capital riesgo que moviliza 1 billón de yuanes, aproximadamente 138.000 millones de dólares, hacia campos de vanguardia entre los que se incluye la tecnología cuántica.

Europa apuesta por la excelencia científica y la soberanía regulatoria, pero afronta una brecha de capitalización persistente. La UE alberga el mayor número de empresas cuánticas del mundo, un 26% del total global, pero capta apenas el 12% de la inversión del sector, y el valor de la financiación de riesgo captada por las startups europeas es más de tres veces inferior al de EE.UU. y más del doble que el de China en términos relativos. Sin embargo, la tendencia muestra una corrección: las startups europeas captaron el 47,5% de la financiación de capital riesgo cuántico en el primer trimestre de 2025, un incremento del 16,5% respecto al año anterior.

Las cinco fuerzas que estructuran la transición global

Del análisis comparado de los tres bloques emergen cinco vectores estratégicos que explican la lógica profunda de la transición en curso.

El primero es la soberanía tecnológica como imperativo político. La Quantum Europe Strategy de julio de 2025 prevé un "Quantum Act" europeo para 2026 con el objetivo de industrializar líneas piloto de producción, espejando la lógica del CHIPS Act estadounidense: garantizar que los elementos críticos de la cadena de valor permanezcan

bajo control doméstico o de aliados de confianza. Los sistemas criogénicos, la fotónica especializada y el software de control se tratan ya como activos estratégicos, no como componentes comerciales.

El segundo es el agnosticismo tecnológico en hardware como respuesta a la incertidumbre. Ante la imposibilidad de determinar qué plataforma prevalecerá, los programas nacionales despliegan bancos de pruebas multiplataforma. Los inversores diversifican capital entre superconductores, iones atrapados, átomos neutros y enfoques topológicos simultáneamente. El foco se ha desplazado desde el recuento de qubits hacia métricas de utilidad práctica: fidelidad, velocidad de puertas lógicas y latencia de interconexión.

El tercero es la escasez de talento como cuello de botella estructural. Solo existe un candidato cualificado por cada tres posiciones especializadas en computación cuántica a escala global, y se estima que serán necesarios más de 250.000 nuevos profesionales cuánticos para 2030. Las respuestas nacionales son convergentes: EE.UU. con el National Q-12 Education Partnership, la UE con "Choose Europe for Science", el Reino Unido captando mil investigadores de posgrado adicionales.

El cuarto es la criptografía post-cuántica como mandato operativo inmediato. La amenaza "harvest now, decrypt later", que consiste en acumular datos cifrados hoy para descifrarlos cuando exista un computador cuántico criptográficamente relevante, ha convertido la migración criptográfica en urgencia que no admite demora. La NSA ha acelerado la adopción del CNSA 2.0 con algoritmos basados en retículos; el NIST publicó en agosto de 2024 los primeros estándares PQC de referencia global; la Comisión Europea publicó en abril de 2024 una Recomendación sobre una Hoja de Ruta de Implementación Coordinada para la transición a la criptografía post-cuántica.

El quinto es el bilateralismo profundo como arquitectura de ejecución, sustituyendo el multilateralismo tradicional. Los acuerdos especializados entre aliados de confianza, como los establecidos entre EE.UU. y Finlandia o entre el Reino Unido y Canadá, permiten acelerar el intercambio de propiedad intelectual e integrar cadenas de suministro con mayor agilidad que los foros multilaterales. El resultado combinado de estas dinámicas es una fragmentación acelerada del ecosistema global en bloques tecnológicos con estándares progresivamente incompatibles.

1.2 Perspectiva OTAN

Por qué la OTAN no puede permanecer neutral

La tecnología cuántica no es neutral en términos estratégicos. Su naturaleza dual, fuente de ventaja operativa si se domina y vector de vulnerabilidad sistémica si lo domina un adversario, obliga a la Alianza a adoptar una posición activa. Una amenaza central es que un computador cuántico funcional podría romper los protocolos criptográficos actuales, y la estrategia eleva la migración criptográfica desde "buena práctica" a resultado estratégico, con implicaciones sobre toda la cadena de suministro defensiva: radios seguras, enlaces satelitales, redes tácticas, infraestructura de identidad y pasarelas entre dominios.

El entorno adversarial hace esta urgencia aún más concreta. Los competidores estratégicos y adversarios potenciales podrían aprovechar las oportunidades de desinformación generando desconfianza pública en el uso militar de las tecnologías cuánticas, añadiendo una dimensión de guerra cognitiva a la amenaza tecnológica. Junto a ello, la dependencia de cadenas de suministro no auditadas expone a la Alianza a vulnerabilidades de tipo supply chain en componentes críticos.

La Quantum Technologies Strategy (2023): estructura y objetivos

La OTAN publicó en enero de 2024 el resumen de su primera Quantum Technologies Strategy, aprobada por los ministros de Asuntos Exteriores el 28 de noviembre de 2023, con el objetivo central de convertirse en una alianza "quantum-ready" capaz de construir un ecosistema cuántico transatlántico seguro y resiliente.

La estrategia se articula en cinco áreas de capacidad con lógica acumulativa. La primera y más urgente es la mitigación del Q-Day mediante la migración de sus redes de mando y control hacia criptografía post-cuántica, conforme a los estándares del NIST de 2024 y las guías europeas para el período 2028-2035. La Alianza se ha fijado como resultado deseado explícito haber completado la transición de sus sistemas criptográficos hacia criptografía cuántico-segura. La segunda es la superioridad en el dominio operativo, con pruebas de algoritmos QAOA y VQE para asignación dinámica de recursos y planificación logística en entornos híbridos HPC+QC. La tercera es la simulación cuántica orientada a modelar dinámicas operativas y materiales estratégicos. La cuarta es la inteligencia

aumentada mediante machine learning cuántico para acelerar la fusión de datos IMINT, SIGINT y OSINT. La quinta, y condición habilitante de todas las anteriores, es la interoperabilidad: la estrategia exige estándares técnicos comunes para garantizar que las capacidades cuánticas puedan desplegarse conjuntamente entre aliados sin comprometer la seguridad, ya que los sistemas cuánticos solo generan valor operativo a escala si pueden integrarse en misiones multinacionales.

La estrategia se materializa a través de tres vehículos operativos. La Transatlantic Quantum Community es el foro creado para articular la cooperación con gobiernos, industria y academia de los ecosistemas de innovación aliados. DIANA actúa como acelerador de aplicaciones de doble uso: seis de las 44 empresas seleccionadas para su programa están especializadas en tecnología cuántica, con proyectos en criptografía de nueva generación, láseres de alta velocidad para conectividad satelital y sensores de imagen 3D cuántica para entornos submarinos. A estos se suma el Deep Tech Lab Quantum en Copenhague, inaugurado a finales de 2023, que actúa como laboratorio de pruebas para startups cuánticas con potencial de doble uso defensivo.

2. Europa

2.1 Excelencia científica sin liderazgo industrial

Europa parte de una posición científica privilegiada pero afronta una brecha estructural de capitalización. La UE ha invertido más de 11.000 millones de euros en tecnología cuántica durante los últimos cinco años, acumula aproximadamente un tercio de las empresas cuánticas del mundo, y sus proveedores suministran casi la mitad de los componentes de hardware y software utilizados en computadores cuánticos a escala global. Sin embargo, la UE está quedando rezagada en la traducción de sus capacidades de innovación en oportunidades de mercado reales, sufriendo además una fragmentación de estrategias y hojas de ruta entre los Estados miembros. El diagnóstico es claro: Europa tiene la ciencia, los investigadores y parte de la cadena de suministro, pero carece de la estructura industrial y el capital de crecimiento necesarios para convertir esa base en liderazgo comercial y estratégico.

Es precisamente esta brecha la que justifica la Quantum Europe Strategy, adoptada por la Comisión Europea el 2 de julio de 2025. La estrategia busca elevar la cuota de financiación privada global que captan las empresas cuánticas europeas, actualmente en torno al 5%, para estimular el crecimiento de startups y scaleups y promover la adopción de soluciones cuánticas europeas por parte de la industria del continente. No es únicamente una hoja de ruta científica. Es una agenda industrial y de soberanía tecnológica.

2.2 La arquitectura estratégica

La estrategia se estructura en cinco áreas de actuación interconectadas: investigación e innovación, infraestructuras cuánticas, fortalecimiento del ecosistema, tecnologías de doble uso para espacio y defensa, y talento cuántico. Estas áreas no son compartimentos estancos sino niveles de una cadena de valor que va desde la ciencia básica hasta la aplicación operativa, y cuya coherencia depende de la gobernanza que proporcionará el instrumento legislativo central de toda la estrategia.

La propuesta del Quantum Act está prevista para el segundo trimestre de 2026. Su base jurídica son los artículos 173, 180 y 184 del TFUE, y su función es formalizar el marco de gobernanza, incentivar a Estados miembros, empresas, inversores e investigadores a alinear esfuerzos, y fortalecer el ecosistema mediante medidas de industrialización vinculantes. Hasta su aprobación, el mandato de EuroHPC será ampliado para asumir la coordinación de toda la

I+D cuántica europea, conectando los fondos de Horizon Europe, Digital Europe y los programas nacionales bajo una misma gobernanza.

La estrategia no plantea acciones paralelas independientes sino una secuencia con lógica acumulativa en tres horizontes temporales. En el horizonte inmediato (2025-2026), las acciones prioritarias son la infraestructura de cómputo híbrido, la industrialización del hardware y el marco normativo. El primer computador cuántico adquirido por EuroHPC fue inaugurado en Poznan en junio de 2025, y en septiembre de 2025 EuroHPC inauguró su segundo sistema cuántico, denominado VLQ, en Ostrava. En paralelo, se lanzan seis líneas piloto de chips cuánticos bajo la Chips Joint Undertaking, una instalación de diseño cuántico europeo y un piloto de red de internet cuántica. Para 2026, se publicarán la Hoja de Ruta de Industrialización de Chips Cuánticos y la Hoja de Ruta de Estándares Cuánticos, que establecerán métricas de madurez tecnológica, criterios de interoperabilidad del software stack y un marco de benchmarking entre soluciones clásicas y cuánticas. En ese mismo año se presentará el Quantum Act y se establecerá la European Quantum Skills Academy.

En el horizonte intermedio (2026-2030), la prioridad se desplaza hacia la conectividad segura y la validación industrial. Entre 2025 y 2030, la UE desplegará enlaces cuánticos terrestres transfronterizos que conectarán a los Estados miembros, así como estaciones terrestres que integrarán la red terrestre EuroQCI con los sistemas satelitales. Las líneas piloto de fabricación validarán sus procesos hacia 2028, preparando el camino hacia las primeras fundiciones cuánticas europeas en torno a 2030. Los Quantum Grand Challenges 2025-2027 concentrarán uno de sus dos retos emblemáticos en la computación cuántica tolerante a fallos, condición indispensable para aplicaciones de defensa, simulación y ciberseguridad.

En el horizonte estratégico (2030-2035), los objetivos son de capacidad computacional y liderazgo global. La estrategia fija para 2030 el desarrollo de ordenadores con al menos 100 cúbits lógicos corregidos de errores, y para 2035 sistemas con miles de cúbits lógicos capaces de abordar simulaciones de dinámica de sistemas complejos y problemas combinatorios de defensa a escala continental. Para 2040, el sector cuántico europeo se espera que supere los 155.000 millones de euros en valor global y genere miles de empleos altamente cualificados en la UE.

La estrategia reconoce explícitamente la dimensión defensiva de las tecnologías cuánticas como vector transversal que atraviesa todas las áreas. La Comisión, junto con la Agencia

Europea de Defensa y la ESA, desarrollará en 2026 una Hoja de Ruta de Sensores Cuánticos para Espacio y Defensa, y financiará iniciativas de spin-in para integrar innovaciones cuánticas civiles en sistemas militares, contribuyendo al Armament Technological Roadmap europeo. Las aplicaciones específicas identificadas incluyen sistemas de navegación sin GNSS basados en sensores cuánticos, comunicaciones seguras en campo de batalla y gravimetría espacial. Las validaciones en entornos controlados de defensa están previstas entre 2028 y 2032.

Estos esfuerzos se alinean con las acciones recientes del Fondo Europeo de Defensa y el creciente interés de la OTAN en convertirse en una alianza "quantum-ready". La coherencia entre la agenda civil europea y la agenda defensiva aliada no es accidental: es uno de los objetivos explícitos de la estrategia.

2.3 El reto de ejecución: de la estrategia al mercado

La Quantum Europe Strategy está bien diseñada en su arquitectura, pero afronta tres tensiones de ejecución que condicionarán su éxito. La primera es la fragmentación de los ecosistemas nacionales, que la estrategia reconoce como problema central pero cuya solución depende de la coordinación voluntaria de los Estados miembros hasta que el Quantum Act entre en vigor. La segunda es la brecha de capital en fases de crecimiento: la estrategia reconoce la necesidad de movilizar capital privado hacia etapas de scaleup, donde la financiación europea es más débil, a través de instrumentos como el EIC y el Scaleup Europe Fund lanzado en mayo de 2025. La tercera es el riesgo de solapamiento institucional entre EuroHPC, Quantum Flagship, los programas nacionales y los instrumentos de defensa, que podría generar ineficiencias si la gobernanza del Quantum Act no establece líneas de responsabilidad inequívocas.

3. España

El año 2025 marca un punto de inflexión para el ecosistema cuántico español. España llega a este momento con una base científica e institucional construida a lo largo de una década de inversión pública sostenida: la estrategia 2025-2030 se apoya en unos 300 millones de euros ya invertidos en años anteriores en infraestructuras e investigación cuántica. Sobre esa base, instituciones como el Barcelona Supercomputing Center, el ICFO, TECNALIA, el CESGA y el CSIC han consolidado capacidades en hardware, fotónica, simulación molecular y comunicaciones seguras. El contexto comparativo sitúa a España en una posición intermedia dentro del ecosistema europeo: por detrás de Alemania, Francia y el Reino Unido en masa industrial y volumen de inversión acumulada, pero por delante de la mayoría de países en agilidad institucional, densidad de startups de origen universitario y capacidad de articulación entre administración, academia e industria.

3.1 La Estrategia Nacional de Tecnologías Cuánticas 2025-2030

La estrategia fue aprobada por el Consejo de Ministros el 15 de abril de 2025 y presentada el 24 de abril en el marco del Foro Global de Tecnología de la OCDE celebrado en Madrid, con la participación de representantes de más de 38 países. Su presentación conjunta por los Ministerios de Ciencia e Innovación y de Transformación Digital refleja una ambición de coordinación interministerial que iniciativas anteriores no habían logrado.

El presupuesto estimado asciende a 808 millones de euros, financiados principalmente a través de los Fondos FEDER y el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, con una inversión total potencial de 1.500 millones de euros si se moviliza el capital privado esperado. Esta cifra sitúa a España entre los países que han realizado compromisos públicos más significativos en el panorama cuántico global de 2025.

La estrategia se estructura en cuatro objetivos y siete prioridades de implementación. Los objetivos son: fortalecer la I+D y facilitar la transferencia al mercado; crear un mercado cuántico español fomentando el crecimiento de empresas y su acceso a capital; preparar a la sociedad para el cambio disruptivo garantizando la privacidad postcuántica; y consolidar un ecosistema cuántico nacional conectado con Europa. Las siete prioridades cubren: el fortalecimiento empresarial; la convergencia algorítmica entre IA y computación cuántica; las comunicaciones cuánticas seguras; la sensórica y metrología cuántica; la privacidad postcuántica; las

infraestructuras, investigación y talento; y la coordinación del ecosistema con liderazgo en la UE.

3.2 Infraestructuras: una red distribuida integrada en Europa

La infraestructura cuántica española se articula en tres niveles complementarios: computación, comunicaciones y hardware experimental, configurando una red nacional distribuida con integración directa en el sistema europeo.

En computación, España cuenta desde 2025 con tres sistemas operativos de naturaleza distinta y complementaria. El primero es el ordenador cuántico de puertas lógicas instalado en el BSC en el marco del proyecto Quantum Spain, financiado con 22 millones de euros de los fondos Next Generation EU. El sistema, integrado como una partición de MareNostrum5 denominada MareNostrum Ona, cuenta con chips cuánticos de 5 y 10 cúbits basados en tecnología de circuitos superconductores, con una ampliación prevista a 20 cúbits, y se complementa con emuladores cuánticos disponibles en el CESGA y el SCAYLE para el desarrollo de aplicaciones quantum-inspired. Quantum Spain es un esfuerzo colaborativo en el que participan 27 instituciones, incluyendo los 14 nodos de la Red Española de Supercomputación, el CSIC, el ICFO y varias universidades. El segundo es el ordenador cuántico analógico desarrollado por Qilimanjaro para EuroHPC, un quantum annealer cofinanciado con 8,5 millones de euros que se integra igualmente en MareNostrum5 y amplía el abanico de arquitecturas disponibles para problemas de optimización. España es así uno de los seis países europeos seleccionados por EuroHPC para alojar y operar ordenadores cuánticos europeos, junto con Alemania, Francia, Italia, Polonia y República Checa.

El tercer sistema en operación es cualitativamente distinto a los anteriores: el IBM Quantum System Two instalado en San Sebastián. El Gobierno Vasco e IBM inauguraron el 14 de octubre de 2025 el primer IBM Quantum System Two de Europa en el IBM-Euskadi Quantum Computational Center, ubicado en el campus principal de la Fundación Ikerbasque. Se trata del segundo despliegue de este sistema fuera de Estados Unidos, tras el instalado en Kobe, Japón, y el tercero en todo el mundo. El sistema está equipado con el procesador IBM Quantum Heron de 156 cúbits, diseñado para escalar e integrar múltiples procesadores en el futuro, y permite la ejecución de algoritmos de escala utilitaria que superan las capacidades de la simulación clásica por fuerza bruta. Desde el centro se da acceso a más de 20 centros de investigación y más de 30 empresas, incluyendo Iberdrola. La colaboración entre el Gobierno

Vasco e IBM se inició en 2023 en el marco de la iniciativa BasQ, y en marzo de 2025 se actualizó el acuerdo original para instalar no un IBM Quantum System One sino directamente el sistema más avanzado disponible, el Quantum System Two, con el objetivo de posicionar a Euskadi como polo internacional en tecnologías cuánticas y hub de referencia para el sur de Europa. La inversión del Gobierno Vasco en el marco de la iniciativa BasQ supera los 153 millones de euros en promoción de computación cuántica y ciencia.

En comunicaciones cuánticas, España participa en los proyectos MadQCI y EuroQCI, orientados al despliegue de redes cuántico-clásicas mediante distribución de claves cuánticas. El Quantum Communications Hub, creado con una inversión inicial de 10 millones de euros del PRTR, actúa como coordinador de esta red nacional con nodos en el ICFO, la UPM, el Donostia International Physics Center y el Instituto de Astrofísica de Canarias.

En hardware experimental, el CSIC ha desarrollado en Asturias un simulador cuántico basado en átomos de Rydberg como paso intermedio hacia un computador cuántico universal nacional, y el Gobierno ha comprometido 9,75 millones de euros para que Nu Quantum establezca una filial en España orientada a redes cuánticas.

3.3 Aplicaciones sectoriales y colaboración internacional

El proyecto CUCO fue uno de los pioneros en la articulación de la aplicación cuántica en España de forma colaborativa. Este consorcio reúne a siete empresas entre las que se encuentran BBVA, Repsol y GMV, cinco centros de investigación como el BSC, el CSIC, el DIPC, el ICFO y Tecnalia, y la Universidad Politécnica de Valencia, con el objetivo de investigar la computación cuántica aplicada a industrias estratégicas de la economía española: energía, finanzas, espacio, defensa y logística.

Más allá de CUCO, las aplicaciones avanzan en varios frentes sectoriales con proyectos piloto en marcha. En salud, el BSC y el CSIC trabajan en simulaciones moleculares para acelerar el descubrimiento de fármacos. En finanzas, BBVA y Multiverse Computing aplican algoritmos cuánticos e inspirados en redes tensoriales a la optimización de carteras y la evaluación de riesgos. En energía, Repsol y Qilimanjaro han validado ventajas computacionales en optimización de redes inteligentes y predicción de demanda en entornos industriales reales. En logística, se desarrollan algoritmos de planificación de rutas y gestión de flotas en escenarios complejos. En ciberseguridad y defensa, LuxQuanta y aQuantum colaboran con organismos

especializados en el desarrollo de protocolos de criptografía postcuántica, alineándose con la agenda de migración impulsada desde Bruselas y la OTAN.

Colaboración Internacional

La cooperación exterior es un eje central de la estrategia nacional. La participación activa en consorcios multilaterales permite acceder a financiación competitiva, infraestructuras avanzadas y redes de talento, acelerando la madurez del ecosistema. España integra los principales programas europeos en tecnologías cuánticas:

- Quantum Flagship: más de veinte proyectos en curso.
- HPCQS: integración de simuladores cuánticos en la infraestructura de supercomputación continental.
- OpenSuperQ+: desarrollo de hardware escalable.
- PASQuanS2: simulación de sistemas complejos en física y química.
- Quantum Internet Alliance (QIA): construcción del futuro internet cuántico europeo.
- EuroQCI: despliegue de redes seguras de comunicación cuántica con participación nacional destacada.

La implicación en estas iniciativas consolida la posición de España como actor cooperativo dentro del Espacio Europeo de Investigación, contribuyendo a la creación de una industria cuántica competitiva y alineada con los principios de soberanía tecnológica y responsabilidad ética promovidos por la Unión Europea.

4. Comunidad de Madrid

4.1 Actores públicos

El ecosistema cuántico de la Comunidad de Madrid se apoya en una base pública particularmente densa, articulada en torno a universidades, organismos públicos de investigación, centros tecnológicos y entidades de coordinación científico-industrial. Más que un conjunto disperso de iniciativas, lo que se observa es una arquitectura institucional con capacidades complementarias a lo largo de varias capas de la cadena de valor: investigación básica, desarrollo experimental, validación tecnológica, formación avanzada y transferencia hacia aplicaciones estratégicas. En este marco, el sector público no solo financia y coordina, sino que también actúa como generador directo de conocimiento, infraestructura y talento, desempeñando un papel estructurante en la consolidación de Madrid como uno de los principales nodos cuánticos de España.

Universidades y Centros de Investigación

Las universidades y centros de investigación madrileños constituyen el núcleo científico del ecosistema regional y concentran buena parte de las capacidades que sostienen su proyección futura. Su relevancia no radica únicamente en la excelencia académica, sino en su capacidad para traducir investigación de frontera en plataformas experimentales, redes de colaboración y programas formativos conectados con la demanda industrial y estratégica. En conjunto, estos actores cubren ámbitos clave como las comunicaciones cuánticas, la fotónica, la criptografía post-cuántica, la simulación y el diseño de algoritmos, configurando una base científico-tecnológica que permite a la Comunidad de Madrid participar de forma competitiva en iniciativas nacionales, europeas y de cooperación público-privada.

Entre estos centros, destacan:

- *Universidad Politécnica de Madrid (UPM)*: Coordinador técnico de MADQuantum-CM y MADQCI. Lidera grupos en criptografía cuántica, fotónica y materiales cuánticos. Opera el Grupo de Información Cuántica (GRIC-UPM) y su participación en 5TONIC (laboratorio 5G) extiende capacidades de red cuántica.
- *Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)*: Socia de MADQuantum-CM y 5TONIC. Desarrolla óptica cuántica y módulos de control de QKD. Junto al CSIC, imparte el

Máster en Tecnologías e Ingeniería Cuánticas (Leganés, 90 ECTS) con docencia de IBM, Telefónica e INTA.

- *Universidades Autónoma y Complutense (UAM, UCM)*: Participan en consorcios cuánticos públicos, investigan algoritmos cuánticos y seguridad PQC. Varios investigadores del CSIC Madrid colaboran en simulaciones y criptografía cuántica aplicada.
- *Institutos IMDEA (Madrid)*: IMDEA Networks coordina 5TONIC con Telefónica y desarrolla protocolos QKD/PQC. IMDEA Software investiga simulación de materiales cuánticos y algoritmos. IMDEA Energía explora QKD para redes eléctricas.
- *INTA (Técnicas Aeroespaciales)*: Despliega proyectos de QKD satelital con la spin-off Eye4Sky (desarrollada en el Centro de Astrobiología de Madrid).
- *Otros*: El Centro Español de Metrología (CEM) valida estándares cuánticos; el CSIC cuenta con nodos de supercomputación en la red MareNostrum donde se simulan algoritmos cuánticos (Quantum Spain).

Proyectos públicos clave:

A través de la Consejería de Digitalización y la Consejería de Educación, Ciencia y Universidades, la Comunidad de Madrid ha promovido la I+D cuántica mediante subvenciones y proyectos regionales:

- **MADQuantum-CM (2023–2026)**: Dirigido por UPM y Cmadrid, con 73 M€ de inversión total (fondos NextGenerationEU, FEDER, PRTR). Este consorcio (Telefónica, UC3M, INTA, CEM, Vithas, UAM, UCM, IMDEA, etc.) crea nuevos enlaces QKD, implementa protocolos PQC híbridos y desarrolla casos de uso en *sanidad, energía y servicios públicos*. MADQuantum posiciona a Madrid dentro del EuroQCI e impulsa interoperabilidad paneuropea de estándares.
- **MADQCI (Madrid Quantum Communications Infrastructure)**: Red experimental construida desde 2009 sobre fibra óptica de Telefónica. Es hoy la mayor red QKD de Europa. MADQuantum-CM la expande, conectando hospitales, centros de datos y nodos transfronterizos. Opera en colaboración público-privada con apoyo técnico de UPM/5TONIC.
- **Quantum Spain (Proyecto RES/BSC)**: Iniciativa nacional con participación de la UC3M. Instaló en 2023 un ordenador cuántico de 5–10 qubits (32M€ inversión) en el superordenador MareNostrum5 (Barcelona). Madrid participa con software cuántico y simulaciones (por ejemplo, proyectos del BSC para QAQC en finanzas).

- Planes Complementarios Estatales: MADQuantum-CM forma parte del *Plan Complementario de Comunicaciones Cuánticas*, así como TAU-CM (astrofísica cuántica) y MAD2D-CM (materiales). Madrid colabora enviando investigadores y cofinanciación regional a estas iniciativas nacionales.

4.2 Actores privados y emprendimiento

La dimensión privada del ecosistema cuántico madrileño se caracteriza por una estructura todavía emergente, pero cada vez más articulada, en la que conviven grandes corporaciones con capacidad de despliegue, operadores tecnológicos con infraestructuras críticas y un tejido de startups y spin-offs orientadas a nichos de alto valor añadido. A diferencia del componente público, cuya lógica principal es la generación de capacidades científicas y de infraestructura, el sector privado actúa como espacio de validación, escalado y conexión con la demanda real. Su papel resulta decisivo porque es en este nivel donde la tecnología comienza a traducirse en productos, servicios, integraciones sectoriales y pruebas de mercado. En Madrid, esta capa empresarial se está consolidando especialmente en torno a comunicaciones cuánticas, criptografía post-cuántica, fotónica, middleware de integración y aplicaciones para sectores estratégicos como telecomunicaciones, salud, energía y defensa.

Startups y spin-offs locales:

Las startups y spin-offs locales representan el segmento más dinámico y experimental del ecosistema madrileño, al concentrar buena parte de la innovación aplicada en fases tempranas. Su relevancia no reside únicamente en el número de iniciativas, todavía limitado, sino en su capacidad para ocupar espacios tecnológicos muy concretos dentro de la cadena de valor cuántica, desde componentes fotónicos y dispositivos de corrección óptica hasta soluciones de integración software para entornos cloud y arquitecturas híbridas QKD/PQC. Muchas de estas empresas surgen directamente de grupos de investigación, centros públicos o programas de transferencia, lo que revela un patrón de emprendimiento intensivo en conocimiento. En conjunto, este tejido emprendedor funciona como laboratorio de industrialización temprana, permitiendo testar tecnologías en entornos reales y reducir la distancia entre la investigación académica y la adopción comercial.

- *Eye4Sky (INTA)*: Desarrollo de dispositivos de corrección de polarización para QKD espacial y terrestre. Participó en el programa MADQuantum (Business Venture) con financiación ~300 k€.
- *Q-Dynamics*: Startup enfocada en enlace QKD (fibra y satélite); también beneficiaria del MADQuantum Venture (300 k€).
- *PuffinSecurity*: Startup de integraciones PQC/QKD para la nube (Madrid), apoyada con 300 k€.
- *g2-zero*: Spin-off que investiga fuentes cuánticas integrables (fotónica); similar apoyo de 300 k€.
- *LuxQuanta (base Barcelona, oficina Madrid)*: Especializada en QKD de variables continuas; validó su tecnología en MADQCI. Recaudó 8 M€ (2025) liderados por Wayra.
- *Multiverse Computing (San Sebastián)* y *Quside (Barcelona)*: Aunque no nacieron en Madrid, colaboran con empresas madrileñas de finanzas y energía, ilustrando la interconexión con el ecosistema vasco/catalán.

Empresas tecnológicas grandes

Las grandes empresas tecnológicas y los operadores consolidados desempeñan una función distinta pero complementaria a la de las startups: aportan escala, acceso a infraestructuras, capacidad de integración sectorial y conexión con mercados regulados o de misión crítica. En el caso de Madrid, su papel es especialmente relevante en ámbitos donde la tecnología cuántica no se desarrolla como producto aislado, sino como capa avanzada sobre redes, sistemas de seguridad, plataformas de datos o arquitecturas de comunicaciones ya existentes. Estas compañías actúan, por tanto, como socios de validación industrial y como primeros vectores de adopción, al incorporar tecnologías cuánticas y post-cuánticas en telecomunicaciones, defensa, navegación, banca o servicios críticos. Su participación también revela que el ecosistema madrileño no avanza únicamente desde la oferta científica, sino desde una interacción progresiva entre investigación, infraestructura y demanda corporativa.

El caso Telefónica: Un pionero nacional con sede en Madrid

Telefónica es uno de los actores corporativos más relevante del ecosistema cuántico madrileño porque combina tres activos que pocas empresas reúnen simultáneamente: infraestructura de red real, capacidad de integración comercial y una agenda propia de innovación cuántica

orientada a despliegues operativos. Su papel no se limita a ser un operador que observa la evolución tecnológica desde fuera, sino que actúa como plataforma de experimentación, validación y futura comercialización de soluciones quantum-safe. En marzo de 2025 anunció la creación de un Centro de Excelencia en Tecnologías Cuánticas, concebido como núcleo de gobernanza interna de toda su estrategia en este ámbito. Ese centro estructura la actividad de la compañía en tres ejes – comunicaciones y ciberseguridad, computación y simulación, y sensórica y metrología – y sitúa como prioridad inmediata la cripto-agilidad, es decir, la capacidad de migrar sistemas criptográficos con rapidez cuando cambian los estándares o aparecen nuevas amenazas. La cripto-agilidad importa porque una organización no solo necesita cifrado seguro, sino también capacidad para sustituirlo sin rehacer toda su arquitectura; un ejemplo sencillo sería una red corporativa capaz de pasar de algoritmos clásicos a post-cuánticos sin rediseñar todos sus equipos.

En Madrid, la principal contribución de Telefónica al ecosistema regional se produce a través de dos vehículos complementarios. El primero es su propia infraestructura de fibra, que sirve de soporte físico para el despliegue de protocolos QKD en el marco de MadQuantum-CM y la expansión de MadQCI, la mayor red de comunicaciones cuánticas de Europa. QKD significa *Quantum Key Distribution*, o distribución cuántica de claves: un método para compartir claves criptográficas usando propiedades de la mecánica cuántica, de modo que cualquier intento de interceptación altera la señal y puede detectarse. Esto importa porque permite proteger hoy información sensible frente a ataques futuros, incluido el escenario “harvest now, decrypt later”; un ejemplo sería asegurar el intercambio de historiales clínicos entre hospitales con claves cuya interceptación sería detectable. El segundo vehículo es 5TONIC, el laboratorio abierto de innovación creado por Telefónica e IMDEA Networks, que funciona como banco de pruebas para validar soluciones de control de redes cuánticas en condiciones operativas reales. En ese entorno se han evaluado arquitecturas de distribución segura extremo a extremo basadas en QKD, software *cloud-native* y SDN (*Software-Defined Networking*, redes cuyo control se gestiona por software y no únicamente por hardware fijo), y se ha desplegado un *testbed* híbrido PQC/QKD para ensayar interoperabilidad entre criptografía post-cuántica y distribución cuántica de claves. Esto importa porque, en la práctica, la transición no será puramente cuántica ni puramente post-cuántica, sino híbrida; un ejemplo sería una red multisede en la que parte de la seguridad repose en algoritmos post-cuánticos estandarizados y parte en enlaces QKD para nodos especialmente sensibles.

Además de participar en MadQuantum-CM, Telefónica ya ha trasladado esta agenda a casos de uso concretos. En 2025 comunicó el despliegue de un enlace de fibra cuántica entre dos hospitales del grupo Vithas en la Comunidad de Madrid, protegiendo el intercambio de datos clínicos mediante QKD con apoyo de socios tecnológicos como LuxQuanta y QoolNet. Este caso tiene relevancia estratégica porque demuestra que la propuesta quantum-safe de Telefónica no se limita a presentaciones institucionales, sino que se ha ensayado en un entorno con datos especialmente sensibles y con exigencias regulatorias elevadas. Más recientemente, en el MWC 2026, la compañía presentó su propuesta “Quantum Telco”, estructurada en cuatro pilares: comunicaciones quantum-safe, generación de ecosistemas cuánticos, proyectos de computación cuántica aplicada y creación de un hub criptográfico. En ese marco, Telefónica se presenta como integrador de soluciones de terceros y como primer operador en comercializar servicios de comunicaciones protegidas con nuevos estándares post-cuánticos, incluyendo servicios para interconexión segura de centros de datos y comunicaciones corporativas.

Otros grandes pioneros

- *Indra (Madrid)*: Consultora e integradora tecnológica que ha liderado en MADQuantum-CM el segmento de comunicaciones cuánticas satelitales y terrestres. Integra módulos QKD en sistemas de comunicaciones seguras para defensa y se involucra en iniciativas europeas de dual-use.
- *GMV*: Empresa de ingeniería avanzada (sede Madrid) colaborando en proyectos de seguridad cuántica para sistemas de navegación y telecomunicaciones críticas.
- *Banco Santander*: Participa indirectamente apoyando investigación en optimización cuántica (con sede en Nueva York, pero su centro Santander Fintech está en Madrid). Cofinancia cátedras conjuntas (INRIA, universidades) con orientación a finanzas cuánticas.
- *Empresas de energías y transporte*: Aunque tienen sede fuera de Madrid, colaboran en proyectos con centros madrileños (Repsol con Qilimanjaro en redes inteligentes; Adif con GradiQuantum en criptografía cuántica ferroviaria).

Tabla 1. Actores del ecosistema cuántico en la Comunidad de Madrid

Actor	Tipo	Ubicación	Funciones clave
Comunidad de Madrid	Gobierno regional	Madrid	Planificación estratégica, financiación proyectos, coordinación políticas
UPM	Universidad pública	Madrid	Coordinación MADQuantum-CM; I+D en QKD, fotónica, cálculo cuántico
UC3M	Universidad pública	Leganés	I+D en óptica cuántica; imparte máster cuántico (con CSIC, IBM, etc.)
IMDEA Networks	Centro I+D público	Leganés	Desarrollo de protocolos QKD/PQC; 5TONIC Lab
5TONIC Lab	Laboratorio (Telef+IMDEA)	Madrid	Plataforma de pruebas 5G/6G+QKD; validación de sistemas cuánticos híbridos
Telefónica	Empresa privada	Madrid	Infraestructura de fibra; I+D en redes cuánticas (QKD en red comercial)

Indra	Empresa privada	Madrid	Integración de QKD en comunicaciones críticas y defensa
INTA	Centro I+D público	Madrid	Comunicaciones aeroespaciales; spin-off Eye4Sky
Eye4Sky (INTA spin-off)	Startup	Madrid	Sensores de polarización para QKD espacial/terrestre
LuxQuanta	Startup	Madrid / Barcelona	Sistemas QKD de variables continuas

4.3 Casos de uso sectoriales

La relevancia del ecosistema cuántico madrileño no depende únicamente de su densidad institucional o de la calidad de sus capacidades científicas, sino de su progresiva traducción en aplicaciones sectoriales concretas. Aunque la mayoría de los desarrollos se encuentran todavía en fases tempranas de madurez, ya es posible identificar una cartera de casos de uso que revela dónde se están concentrando los esfuerzos de validación tecnológica y qué sectores perciben con mayor claridad el valor estratégico de estas tecnologías. En la Comunidad de Madrid, esta adopción inicial se articula sobre todo en torno a ámbitos donde la seguridad de la información, la optimización de sistemas complejos y la resiliencia de infraestructuras críticas tienen un peso central, como la energía, las finanzas, la defensa, la salud, la logística y el espacio.

En este contexto, los casos de uso cumplen una doble función. Por un lado, actúan como bancos de pruebas para verificar la viabilidad técnica de soluciones todavía emergentes, como la distribución cuántica de claves, la criptografía post-cuántica o ciertos algoritmos de optimización y simulación. Por otro, permiten al ecosistema construir capacidades aplicadas, generar aprendizaje organizativo y preparar a empresas e instituciones para una adopción más amplia en el medio plazo. El patrón que se observa en Madrid no es aún el de una comercialización extendida, sino el de una fase de transición desde la investigación experimental hacia pilotos sectoriales con orientación estratégica, especialmente en dominios donde la ventaja competitiva o la protección frente a riesgos futuros justifican una inversión temprana.

Entre estos sectores, destacan:

- Energía: Redes inteligentes seguras. Repsol (Madrid) y Red Eléctrica exploran algoritmos cuánticos para optimización de la red. MADQuantum evalúa QKD para proteger comunicaciones de subestaciones. Nivel de madurez: pruebas de concepto (TRL 4–5).
- Finanzas: Seguridad cuántica en transacciones. El Banco Santander ha financiado investigación cuántica en colaboración con la Universidad (p.ej. Máster UC3M). BBVA (en Bilbao) investiga algoritmos de optimización de carteras en colaboración con Multiverse (San Sebastián). En Madrid, instituciones colaboran en migración a

criptografía post-cuántica (preventiva ante Q-Day). Las soluciones productivas aún están en laboratorio (TRL bajo).

- Defensa y seguridad: Protección criptográfica. El Ejército fomenta la adopción de criptografía post-cuántica de forma inmediata (agenda OTAN). Empresas de defensa con sede en Madrid (Indra, GMV) participan en proyectos de migración de radioseguridad. Se ensayan enlaces QKD en comunicaciones gubernamentales.
- Salud: Guardado seguro de datos. Hospitales madrileños usan QKD para proteger historiales digitales con la spin-off Eye4Sky. El consorcio de clínicas Vithas, parte de MADQuantum, testa QKD en telemedicina. Simulaciones cuánticas (BSC/CSIC) se emplean en I+D farmacéutica. En 2025, solo existen pilotos de laboratorio (TRL bajo).
- Logística y transporte: Optimización de rutas. Proyectos incipientes: el consorcio europeo CALYPSO (coordinado por Madrid) usa algoritmos cuánticos inspirados en iones atrapados para planificar flotas. Empresa NEAR (Madrid) desarrolla software cuántico-inspirado de logística. Están en fase de investigación (TRL 3–4).
- Espacio: Comunicaciones cuánticas satelitales. Aunque Madrid no lidera proyectos propios de satélite cuántico, la investigación del INTA (parte de MADQuantum) cooperó con China/España (Micius) en 2022. Se colabora con EuroQCI vía estaciones terrestres en la península. Aplicaciones comerciales: planificación de satélites seguros aún emergente.

4.4 Talento y formación

El desarrollo del ecosistema cuántico madrileño depende en gran medida de su capacidad para generar, atraer y retener capital humano altamente especializado. A diferencia de otros ámbitos tecnológicos más maduros, donde existe ya un mercado laboral relativamente consolidado, las tecnologías cuánticas siguen enfrentando una escasez estructural de perfiles capaces de operar en la intersección entre física, ingeniería, matemáticas, informática y aplicaciones sectoriales. Por ello, la formación no constituye un elemento accesorio del ecosistema, sino una condición habilitante de su crecimiento. En la Comunidad de Madrid, esta función se articula a través de una combinación de másteres especializados, programas de doctorado, becas públicas, cursos de corta duración y colaboraciones directas entre universidades, centros de investigación y empresas tecnológicas.

Lo relevante no es solo la expansión cuantitativa de la oferta formativa, sino su creciente orientación hacia la transferencia y la empleabilidad en entornos reales. Madrid está

configurando un modelo en el que la formación cuántica ya no se limita a la especialización académica, sino que incorpora progresivamente componentes prácticos, acceso a herramientas industriales, interacción con operadores tecnológicos y exposición a casos de uso concretos en comunicaciones, simulación, ciberseguridad y sensórica. Esta convergencia entre docencia, investigación e industria resulta estratégica porque reduce la distancia entre la generación de conocimiento y su aplicación, al tiempo que permite construir una base de talento capaz de sostener tanto la investigación de frontera como la futura adopción empresarial de tecnologías cuánticas.

Entre los programas de formación, destacan:

- *Máster en Tecnologías Cuánticas (UIMP-CSIC, 1er curso 2024)*: Colabora con UPM, UPC, Univ. Zaragoza y expertos iberoamericanos. Incluye módulos de IA cuántica y talleres prácticos en centros nacionales.
- *Máster UC3M-CSIC (Leganés)*: 90 ECTS en Tecnologías e Ingeniería Cuánticas, con docencia de IBM, Banco Santander, Telefónica, INTA. Cubre desde física cuántica hasta aplicaciones en industria.
- *Grado y doctorados*: UPM y UCM están ampliando cursos de posgrado cuántico y contratando investigadores vía I+D público. CSIC y UCM lanzaron becas FPI para tesis en computación cuántica.
- *Cursos cortos*: IBM ofrece a estudiantes locales acceso gratuito a Qiskit y hardware en nube. 5TONIC organiza talleres prácticos para ingenieros. Empresas como Telefónica y GMV colaboran en clases universitarias, creando spinoffs.

5. País Vasco

El País Vasco ha construido en pocos años uno de los proyectos regionales más ambiciosos del panorama cuántico español. Su rasgo distintivo no es solo la existencia de un activo tecnológico visible – el IBM Quantum System Two instalado en Donostia-San Sebastián – sino la voluntad de articular en torno a él una estrategia territorial más amplia, BasQ – Basque Quantum, concebida como plataforma de investigación, atracción de talento, cooperación internacional y desarrollo industrial. A diferencia de otros ecosistemas que avanzan desde una lógica más fragmentada, Euskadi ha tratado de presentar la cuántica como una política de país, conectando gobierno autonómico, diputaciones, universidades, centros tecnológicos, grandes empresas y socios internacionales bajo una narrativa común de especialización avanzada, soberanía tecnológica y reindustrialización.

Esta apuesta se inserta en tres marcos superpuestos. El primero es el marco regional, donde la estrategia IKUR identificó la computación cuántica como una de las áreas científicas prioritarias desde 2019, y donde posteriormente cristalizó BasQ como instrumento operativo del Gobierno Vasco y de las diputaciones forales. El segundo es el marco nacional, en el que Euskadi se alinea con la Estrategia Nacional Española de Tecnologías Cuánticas 2025–2030 y con los instrumentos de coordinación financiados por fondos europeos y estatales. El tercero es el marco europeo, reforzado por la Quantum Europe Strategy presentada por la Comisión en julio de 2025, que sitúa la investigación, las infraestructuras, el ecosistema empresarial, las tecnologías duales y el talento como los cinco pilares de la consolidación cuántica europea, y que prevé un futuro Quantum Act en 2026 para acelerar la industrialización y la coordinación entre Estados miembros.

En este contexto, Euskadi no se presenta únicamente como usuario periférico de una agenda europea diseñada en Bruselas, sino como un nodo que aspira a desempeñar una función concreta dentro del ecosistema continental. Su posicionamiento combina varias capas. En primer lugar, busca consolidarse como polo de computación cuántica de alto nivel, apoyándose en la alianza con IBM y en la instalación del System Two. En segundo lugar, pretende integrarse en la futura arquitectura europea de comunicaciones cuánticas seguras, en conexión con EuroQCI y otros esfuerzos de interconexión terrestre y, previsiblemente, satelital. En tercer lugar, intenta especializarse en aplicaciones con anclaje industrial claro – energía, materiales, industria avanzada, biomedicina e inteligencia artificial – de acuerdo con la estructura productiva vasca y con la lógica europea de tecnologías de doble uso. Esta combinación es

importante porque indica que el proyecto vasco no descansa solo en prestigio científico, sino en una hipótesis de utilidad económica y estratégica; por ejemplo, usar computación cuántica para modelar nuevos materiales no es solo una cuestión académica, sino una vía para reforzar sectores industriales regionales con alto contenido tecnológico.

La evolución del proyecto puede resumirse en una secuencia institucional relativamente clara. La colaboración entre el Gobierno Vasco e IBM se anunció en 2023 con el objetivo de crear el IBM-Euskadi Quantum Computational Center y desplegar inicialmente un sistema de la familia Quantum System One. En marzo de 2025 esa ambición se elevó: ambas partes comunicaron que el centro albergaría finalmente el primer IBM Quantum System Two de Europa, equipado con un procesador Heron de 156 cúbits y concebido como infraestructura escalable para ejecutar algoritmos de escala utilitaria, es decir, circuitos cuánticos lo bastante complejos como para ir más allá de lo que puede hacerse por fuerza bruta con simulación clásica. En octubre de 2025 el sistema fue inaugurado oficialmente en el campus principal de Ikerbasque, consolidando a Euskadi como uno de los puntos de acceso más avanzados a infraestructura cuántica en Europa.

Ese salto tecnológico vino acompañado de una estrategia de visibilidad y movilización social. El Gobierno Vasco presentó 2025 como Año de la Cuántica en Euskadi, en sintonía con el Año Internacional de la Ciencia y las Tecnologías Cuánticas, con un programa de actividades científicas, institucionales y de divulgación orientado a reforzar legitimidad pública, atraer vocaciones y proyectar internacionalmente el ecosistema BasQ. Esta dimensión importa porque la cuántica no se consolida únicamente con laboratorios y hardware: necesita comunidad, capacidad narrativa y mecanismos de formación social que reduzcan la distancia entre infraestructura científica y tejido económico. Un ejemplo simple sería que un programa regional de eventos y talleres no produce qubits por sí mismo, pero sí ayuda a que empresas, estudiantes e instituciones entiendan dónde encajan y cómo pueden participar.

En términos analíticos, lo más relevante de esta trayectoria es que Euskadi ha intentado adelantarse a una fase nueva del sector cuántico europeo: la transición desde la excelencia investigadora hacia la institucionalización territorial de capacidades. Esto significa pasar de tener grupos científicos aislados a construir un ecosistema con gobernanza, infraestructura, programas de talento, socios industriales y proyección exterior. Esa transición todavía está en curso y no está exenta de límites – especialmente en financiación privada, profundidad del tejido emprendedor y madurez de los casos de uso – pero explica por qué el País Vasco ocupa

hoy una posición singular dentro del mapa cuántico español. La lógica de fondo no es simplemente “tener un ordenador cuántico”, sino utilizarlo como ancla para una estrategia regional de largo plazo.

5.1 Actores públicos

La fortaleza del ecosistema cuántico vasco reside, en primer lugar, en su arquitectura pública. A diferencia de otros entornos donde la actividad cuántica se apoya sobre todo en grupos académicos aislados o en proyectos competitivos puntuales, en Euskadi se observa una tentativa de gobernanza coordinada entre gobierno autonómico, diputaciones, universidades, centros tecnológicos y fundaciones científicas. Esa coordinación importa porque las tecnologías cuánticas requieren inversiones de largo plazo, infraestructuras costosas y masa crítica de talento difícil de sostener desde una sola institución; un ejemplo simple sería que un ordenador cuántico avanzado genera mucho menos valor si no está conectado a investigadores, programas formativos, empresas usuarias y redes de colaboración internacional. En el caso vasco, el sector público no solo financia, sino que diseña estrategia, organiza capacidades y actúa como articulador de un ecosistema que pretende ser a la vez científico, industrial y territorial.

Gobierno Vasco y Diputaciones Forales

El núcleo político de esta arquitectura es el Gobierno Vasco, en particular el Departamento de Ciencia, Universidades e Innovación, que impulsa la estrategia BasQ – Basque Quantum en colaboración con las diputaciones de Álava, Bizkaia y Gipuzkoa. Según IBM y el propio marco institucional del proyecto, BasQ no se concibe solo como una instalación tecnológica, sino como un ecosistema integral orientado a avanzar la ciencia cuántica, desarrollar talento, atraer inversión y generar aplicaciones en sectores estratégicos como energía, industria, biomedicina e inteligencia artificial. El punto de partida político se remonta a la estrategia IKUR de 2019, que identificó la computación cuántica como una de las áreas prioritarias para el desarrollo científico vasco. Esto importa porque sitúa la cuántica dentro de una agenda de especialización regional más amplia, no como iniciativa aislada; un ejemplo sería priorizar la cuántica junto con inteligencia artificial o materiales para reforzar sectores industriales ya presentes en el territorio.

Las diputaciones forales desempeñan una función de co-gobernanza y legitimación territorial. Su presencia en la inauguración del IBM Quantum System Two y en la propia definición de BasQ refleja que el proyecto se presenta como apuesta de país y no solo de un departamento

autonómico o de la ciudad de San Sebastián. En términos de política pública, esto permite movilizar recursos de desarrollo económico, programas de talento y redes de clústeres industriales en escalas diferentes. Aunque la cifra de “más de 153 millones de euros” aparece reiteradamente en la comunicación institucional del ecosistema, conviene tratarla como un dato asociado al compromiso agregado del proyecto BasQ y no siempre como un presupuesto homogéneo y plenamente desagregado por programas.

Ikerbasque

Dentro del entramado público, Ikerbasque cumple una función estratégica singular. No es solo una fundación científica, sino el principal instrumento vasco de atracción, reclutamiento y retención de personal investigador internacional. IBM señala que Ikerbasque fue creada por el Gobierno Vasco en 2007 para reforzar el sistema científico vasco y que en 2025 contaba con 373 investigadores de 35 países en 25 instituciones asociadas. En el ámbito cuántico, su importancia es doble. Por un lado, alberga físicamente el IBM-Euskadi Quantum Computational Center en su campus principal de San Sebastián. Por otro, proporciona la base humana que permite que esa infraestructura no quede reducida a un símbolo tecnológico sin comunidad científica alrededor. Esto importa porque un ecosistema cuántico depende tanto de personas como de hardware; un ejemplo sería que disponer de un procesador Heron de 156 cúbits tiene un impacto muy limitado si no existe masa crítica de investigadores capaces de diseñar algoritmos, interpretar resultados y conectarlos con problemas reales.

Además, Ikerbasque actúa como eje de articulación entre distintas instituciones académicas y de investigación del territorio. La organización de talleres como el Basque Quantum Science and Technology Workshop, impulsados por DIPC, UPV/EHU e Ikerbasque bajo el paraguas de IKUR y BasQ, muestra que su papel no se limita a contratar personal, sino que incluye también la construcción de comunidad científica regional e internacional. En 2025, por ejemplo, estos encuentros ya incorporaban colaboración con la Universidad de Burdeos, lo que sugiere una proyección transfronteriza relevante para la dimensión atlántica del ecosistema vasco.

UPV/EHU

La Universidad del País Vasco (UPV/EHU) constituye el principal pilar universitario del ecosistema. Su papel es central por tres razones. La primera es formativa: ofrece el Máster en Ciencia y Tecnología Cuánticas, un programa presencial de 60 créditos, impartido en inglés y orientado explícitamente a la investigación, con dos trayectorias posibles – Física Fundamental

e Información y Tecnología Cuántica – y una capacidad de 25 plazas. La segunda es científica: el máster se apoya en personal docente de la universidad e investigadores de Ikerbasque, lo que conecta formación avanzada con investigación activa. La tercera es ecosistémica: la universidad participa en la construcción de una constelación regional de investigación cuántica, no como actor aislado, sino en interacción con DIPC, Ikerbasque y otras instituciones. Esto importa porque la formación cuántica útil no consiste solo en enseñar teoría, sino en insertar a los estudiantes en laboratorios y redes reales; un ejemplo sería que un alumno no solo estudie computación cuántica en abstracto, sino que pueda integrarse en un grupo que trabaja en algoritmos, materiales o sensórica.

El propio máster se presenta como “el único programa de máster en España centrado en Ciencia y Tecnología Cuánticas”, lo que refuerza el papel de Euskadi como nodo formativo especializado dentro del sistema universitario español. Ese posicionamiento es relevante porque convierte a la universidad no solo en proveedora de graduados locales, sino en mecanismo potencial de atracción de estudiantes externos y de reproducción del ecosistema a medio plazo.

Centros de investigación y red científica

Más allá de Ikerbasque y UPV/EHU, el ecosistema público vasco se apoya en una red más amplia de centros científicos y tecnológicos. Entre ellos destacan el Donostia International Physics Center (DIPC), con fuerte actividad en física cuántica y organización de comunidad científica; los institutos y grupos asociados a CFM, donde se desarrollan líneas ligadas a materiales cuánticos y teoría de la materia; y diversos nodos universitarios y científicos que participan en los talleres y actividades BasQ/IKUR. La relevancia de esta red no está en que cada institución cubra toda la cadena de valor cuántica, sino en que aportan especializaciones complementarias: teoría, materiales, algoritmos, fotónica, formación y cooperación internacional. Eso importa porque el desarrollo cuántico contemporáneo es intrínsecamente interdisciplinar; un ejemplo sería la necesidad de combinar físicos de materiales, ingenieros de software y matemáticos para avanzar en una sola aplicación industrial.

Aunque jurídicamente no todos encajan de forma estricta en la misma categoría administrativa que una universidad o una fundación científica, desde el punto de vista del ecosistema público ampliado los centros tecnológicos vascos son actores fundamentales. Tecnalía ocupa una posición especialmente destacada porque lidera proyectos orientados a transferencia y

aplicación industrial. El más citado en este ámbito es KUBIT, proyecto apoyado por SPRI a través del programa Elkartek, dedicado a investigar métodos, algoritmos y aproximaciones de computación y simulación cuántica para complementar la inteligencia artificial en la industria vasca y evaluar su impacto y madurez. En él colaboran, además de Tecnalía, Ibermática Fundazioa, Ikerlan, Lortek, Tekniker, Mondragon Unibertsitatea, UPV/EHU y Vicomtech. Esto importa porque muestra que la agenda pública vasca no se limita a ciencia básica ni a hardware emblemático, sino que intenta traducirse en aplicaciones industriales concretas; un ejemplo sería explorar si un algoritmo cuántico o cuántico-inspirado puede mejorar la planificación o la optimización en procesos fabriles.

Vicomtech e Ikerlan son relevantes precisamente por esa función de puente entre ciencia y aplicación. Su papel consiste en absorber conocimiento avanzado y traducirlo en prototipos, validaciones y entornos próximos a la industria. En lenguaje sencillo, actúan como instituciones que acercan la cuántica a problemas prácticos, algo esencial en un territorio cuya legitimidad política del proyecto depende en buena medida de que la inversión pública tenga retornos visibles en competitividad, empleo cualificado y posicionamiento internacional.

5.2 Actores privados

A diferencia del componente público, cuya función principal es construir capacidades científicas, institucionales y formativas, el sector privado debe analizarse desde otra lógica: la de absorción tecnológica, tracción de demanda y validación industrial. En el País Vasco, la cuestión central no es todavía la existencia de un mercado cuántico amplio y maduro, sino qué empresas están empezando a experimentar con estas tecnologías, con qué objetivos y a través de qué mecanismos de colaboración. El patrón que emerge es relativamente claro: por un lado, hay grandes corporaciones con capacidad de introducir demanda real en sectores estratégicos; por otro, existe un tejido todavía reducido pero visible de startups y scale-ups que operan sobre todo en software, optimización y formación de mercado. Esta configuración sugiere un ecosistema privado aún selectivo, pero más orientado a aplicaciones industriales concretas que a una expansión emprendedora masiva.

Grandes corporaciones y actores tractores

IBM es el actor privado más decisivo del ecosistema vasco porque no participa únicamente como proveedor, sino como socio tecnológico estructurante de BasQ. En marzo de 2025 anunció junto con el Gobierno Vasco la instalación en Donostia-San Sebastián del primer IBM Quantum System Two de Europa, equipado con un procesador Heron de 156 cúbits y diseñado para alcanzar la escala de “quantum utility”, es decir, una capacidad útil para ejecutar ciertos algoritmos de interés práctico más allá de la simple demostración experimental. La compañía aporta no solo el hardware, sino también software, entorno de desarrollo y una red internacional de conocimiento que permite conectar el ecosistema vasco con estándares globales de computación cuántica. Esto importa porque Euskadi no está desarrollando desde cero una plataforma propia completa de hardware, sino que está anclando su estrategia sobre una alianza con uno de los líderes mundiales del sector.

Iberdrola representa la función complementaria: no como proveedor tecnológico, sino como empresa tractora de demanda. En julio de 2025 firmó un acuerdo estratégico con el Gobierno Vasco para incorporarse al ecosistema BasQ y acceder al IBM-Euskadi Quantum Computational Center, convirtiéndose en la primera empresa en integrarse formalmente en esta estructura público-privada. El objetivo declarado del acuerdo es investigar aplicaciones de computación cuántica en diferentes ámbitos del sector energético, desarrollar nuevas capacidades tecnológicas y promover transferencia de conocimiento. Esto es relevante porque el sector energético ofrece problemas de gran complejidad combinatoria y de simulación – por ejemplo, gestión de red, programación de recursos o modelización de materiales – donde la computación cuántica y cuántico-inspirada puede tener recorrido. En otras palabras, Iberdrola introduce una demanda industrial concreta dentro del ecosistema, algo esencial para que la cuántica vasca no quede encerrada en una lógica exclusivamente institucional.

Tecnalia ocupa una posición distinta, más cercana a la de integrador e intermediario de transferencia. Su papel se articula principalmente a través del proyecto KUBIT, apoyado por SPRI dentro del programa Elkartek, que investiga métodos, algoritmos y aproximaciones de computación y simulación cuántica para complementar la inteligencia artificial en el sector industrial vasco y evaluar su madurez. Tecnalia no es una gran corporación usuaria en sentido estricto, pero sí un actor clave para convertir la promesa cuántica en herramientas y pilotos comprensibles para la industria. Su importancia reside precisamente en esa capacidad de traducción: pasar del lenguaje de la investigación avanzada al de la adopción tecnológica en manufactura, automatización y optimización. En ecosistemas emergentes, esta capa suele ser más determinante que la mera existencia de grandes nombres corporativos.

Junto a Tecnalia aparecen en KUBIT otros actores con orientación aplicada, como Ibermática Fundazioa, Ikerlan, Lortek, Tekniker, Mondragon Unibertsitatea, UPV/EHU y Vicomtech, así como el clúster GAIA. Aunque no todos deben describirse como “grandes corporaciones”, sí forman parte de la capa empresarial y tecnológica que vincula la cuántica con el tejido productivo vasco. Lo importante aquí no es solo quién participa, sino qué revela esa participación: el ecosistema privado vasco se está organizando menos alrededor de productos cuánticos listos para mercado y más alrededor de plataformas colaborativas de aprendizaje y experimentación aplicada.

Scaleups, startups y spin-offs

El ecosistema emprendedor cuántico vasco sigue siendo relativamente reducido si se compara con la densidad institucional y científica de BasQ, pero su interés no reside únicamente en el número de empresas, sino en la variedad de funciones que empiezan a cubrir dentro de la cadena de valor. Más que un clúster maduro de startups puramente cuánticas, lo que hoy se observa en Euskadi es una constelación emergente de scale-ups, nuevas filiales tecnológicas, startups de software y plataformas de aceleración que, en conjunto, están creando una capa empresarial intermedia entre la investigación avanzada y la futura adopción industrial. Esto importa porque, en tecnologías de frontera, la creación de ecosistema no depende solo de tener laboratorios y grandes corporaciones, sino de contar con actores capaces de comercializar, traducir y escalar aplicaciones antes de que el mercado esté plenamente consolidado.

La empresa de mayor visibilidad sigue siendo Multiverse Computing, fundada en San Sebastián en 2019. Su relevancia es indudable porque constituye la historia empresarial más sólida y escalada surgida del entorno cuántico vasco, y porque demuestra que desde Euskadi sí puede emerger una compañía con proyección internacional y acceso a grandes rondas de capital. Sin embargo, para un análisis del ecosistema regional conviene no sobredimensionarla hasta el punto de eclipsar al resto. Multiverse debe leerse como una scale-up tractora, no como la única expresión del emprendimiento cuántico vasco. De hecho, su evolución hacia compresión de modelos de IA y software cuántico-inspirado sugiere que una de las trayectorias más viables para el emprendimiento local puede estar menos en el hardware y más en capas de software, optimización y herramientas de eficiencia computacional.

Un segundo actor relevante es Global Data Quantum, startup con base en Bilbao destacada por SPRI como ejemplo de emprendimiento tecnológico vinculado al ámbito cuántico. Su perfil es importante precisamente porque representa un tipo de empresa distinto a Multiverse: más pequeña, más próxima a la lógica de aplicación directa y centrada en combinar inteligencia artificial y computación cuántica para sectores como transporte, logística, industria o analítica avanzada. En otras palabras, mientras Multiverse opera ya como empresa de referencia internacional, Global Data Quantum ilustra mejor el tipo de emprendimiento regional que puede proliferar en una fase temprana del ecosistema: compañías orientadas a resolver problemas específicos mediante algoritmos híbridos, optimización y análisis de datos, aunque la componente cuántica todavía no se base exclusivamente en hardware cuántico comercial maduro.

Más allá de las startups nacidas en Euskadi, empieza a ser igualmente relevante la llegada de empresas externas que deciden implantarse en el territorio para aprovechar la infraestructura, la política industrial y la masa crítica en torno a BasQ. El caso más claro es Kipu Quantum, que en julio de 2025 anunció la creación de Kipu Quantum Bizkaia, S.L. en Bilbao como hub operativo para España. La empresa definió explícitamente este movimiento como una profundización de su relación con el ecosistema BIQAIN – Bizkaia Quantum Advanced Industries, impulsado por la Diputación de Bizkaia y Lantik en el marco de BasQ. Este caso es especialmente importante porque muestra que el ecosistema vasco no solo genera actores locales, sino que empieza a atraer empresas internacionales especializadas en software cuántico y soluciones orientadas a utilidad industrial. En términos analíticos, esto puede ser incluso más relevante a medio plazo que la mera creación de startups locales, porque indica capacidad de atracción empresarial exógena. Un ejemplo sencillo sería una empresa alemana de algoritmos cuánticos que decide abrir una filial en Bilbao porque percibe allí una combinación favorable de infraestructura, socios industriales y apoyo institucional.

También conviene prestar atención a Quantum Motion Spain y Qubiz.team, no necesariamente como startups vascas consolidadas, sino como actores empresariales cuya presencia en la agenda pública reciente del ecosistema revela que Euskadi está intentando funcionar como plataforma de articulación para empresas cuánticas más amplias. En noviembre de 2025, un encuentro organizado por EHU y Tekniker en Bilbao, en el marco del Año Internacional de las Tecnologías Cuánticas, reunió a representantes institucionales, personal investigador y empresas de vanguardia como Multiverse Computing, Quantum Motion Spain y Qubiz.team. Esto importa porque indica que el ecosistema vasco no se está definiendo únicamente por sus

empresas originarias, sino también por su capacidad para convocar, conectar y visibilizar actores empresariales especializados en hardware, computación y sensórica cuántica. No sería riguroso presentarlas automáticamente como startups vascas en sentido estricto, pero sí como parte del entorno empresarial relevante que empieza a orbitar alrededor de BasQ.

Otro elemento clave no es una startup concreta, sino la creación de infraestructura de escalado empresarial. En este punto destaca la llegada de Creative Destruction Lab – Donostia San Sebastián, integrada en 2025 en la red internacional CDL Quantum con apoyo del Gobierno Vasco, la Diputación Foral de Gipuzkoa, BIC Gipuzkoa e IESE. Este actor merece atención porque aborda una de las principales debilidades del ecosistema vasco: la distancia entre excelencia científica y comercialización. CDL no crea empresas por sí mismo, pero puede actuar como multiplicador del ecosistema al ofrecer mentoría, acceso a red inversora, validación de negocio y acompañamiento para tecnologías deep tech. En términos llanos, es una plataforma que ayuda a que una tecnología científicamente prometedora se convierta en una empresa capaz de captar financiación y encontrar mercado. En una región donde la ciencia y la política pública han avanzado más rápido que la capa startup, esta infraestructura puede resultar decisiva.

En conjunto, el ecosistema emprendedor vasco no debe describirse solo a través de una gran scale-up de referencia, sino como una combinación de cuatro niveles. Primero, una empresa ancla ya escalada, como Multiverse Computing. Segundo, startups locales de aplicación y software, como Global Data Quantum. Tercero, empresas internacionales que se implantan en el territorio para aprovechar el nuevo entorno cuántico, como Kipu Quantum Bizkaia. Cuarto, plataformas de aceleración y densificación empresarial, como CDL Donostia, que pueden aumentar la probabilidad de que aparezcan nuevas compañías en los próximos años. Esta lectura es más útil analíticamente que una visión centrada en un solo “campeón”, porque permite entender que el verdadero reto del País Vasco no es demostrar que tiene una startup de éxito – ya lo ha hecho – sino ampliar y diversificar la base empresarial que rodea a ese éxito.

Tabla 2. Actores del ecosistema cuántico en el País Vasco

Actor	Tipo	Ubicación	Funciones clave en cuántica
Gobierno Vasco	Gobierno autonómico	Euskadi	Estrategia BasQ, financiación, coordinación
Diputaciones Forales	Gobierno foral	Álava, Bizkaia, Gipuzkoa	Apoyo institucional, clústeres y proyectos
Ikerbasque	Fundación pública	Bilbao / San Sebastián	Captación de talento investigador
Tecnalia	Centro tecnológico	Donostia y otros nodos	Desarrollo industrial, coordinación de KUBIT
IBM	Empresa privada	Donostia	Hardware cuántico, soporte tecnológico y formativo
Iberdrola	Empresa privada	Bilbao	Casos de uso en energía, acceso a infraestructura cuántica
CAF	Empresa privada	Beasain	Aplicaciones en transporte y sensórica
Euskaltel	Empresa privada	Bilbao	Preparación post-cuántica en telecomunicaciones

Global Data Quantum	Startup	Bilbao	IA + algoritmos cuánticos para logística
Ceit / Deusto	Centro universitario / I+D	San Sebastián	Simulación, sensores, aplicaciones industriales
UPV/EHU	Universidad pública	Bilbao	Formación e investigación cuántica
QCentroid	Startup	Bilbao	Plataforma <i>quantum-as-a-service</i> , software y consultoría para adopción empresarial de computación cuántica

5.3 Casos de uso sectoriales

La relevancia del ecosistema cuántico vasco no depende solo de la presencia de infraestructura avanzada o de la densidad institucional de BasQ, sino de su capacidad para traducir esas capacidades en aplicaciones sectoriales concretas. En esta dimensión, Euskadi presenta un patrón todavía temprano, pero relativamente coherente con su estructura productiva: los esfuerzos se concentran sobre todo en energía, industria avanzada, materiales, optimización, inteligencia artificial y, en menor medida, seguridad y comunicaciones. Más que un ecosistema con despliegues comerciales maduros, lo que hoy existe es una cartera de pilotos, proyectos exploratorios y programas de capacitación aplicada cuyo objetivo principal es construir experiencia, formar usuarios y preparar a empresas e instituciones para una adopción futura. Este punto es importante porque, en tecnologías cuánticas, el valor actual suele residir menos en la explotación masiva inmediata que en el aprendizaje temprano y en la capacidad de absorción que una región consigue desarrollar.

Energía

El sector energético es, con diferencia, el caso de uso sectorial más claramente documentado en el País Vasco. Esto se debe sobre todo a la incorporación formal de Iberdrola al ecosistema BasQ en julio de 2025, como primera empresa en adherirse a esta estructura de colaboración público-privada. El acuerdo con el Gobierno Vasco establece de forma explícita que ambas partes investigarán aplicaciones de la computación cuántica en distintos ámbitos del sector energético, desarrollarán capacidades tecnológicas y fomentarán la transferencia de conocimiento. Iberdrola ha señalado además áreas concretas de interés, como la optimización de redes inteligentes, la predicción meteorológica, la simulación de materiales avanzados y la aceleración de algoritmos de eficiencia energética. Esta formulación es más sólida que afirmar directamente que ya existen despliegues operativos extensos en subestaciones o plantas concretas, porque lo que está públicamente confirmado es sobre todo una agenda estructurada de I+D aplicada, no todavía una adopción a escala comercial.

Desde una perspectiva analítica, la energía es un sector especialmente adecuado para la exploración cuántica porque combina tres tipos de problemas donde la tecnología podría generar valor: optimización combinatoria, simulación de materiales y modelización de sistemas complejos. Un ejemplo simple sería mejorar el despacho de recursos en una red eléctrica con alta penetración renovable o explorar materiales más eficientes para almacenamiento

energético. En el caso vasco, por tanto, la energía no debe presentarse todavía como un sector con soluciones cuánticas maduras, pero sí como el dominio de aplicación más claro y estratégicamente priorizado dentro del ecosistema regional.

Industria avanzada, optimización e inteligencia artificial

El segundo bloque más sólido corresponde a los casos de uso vinculados a industria avanzada e IA, articulados especialmente a través del proyecto KUBIT. Según SPRI, KUBIT investiga métodos, algoritmos y aproximaciones de computación y simulación cuántica para complementar la inteligencia artificial en el sector industrial vasco y evaluar su impacto y grado de madurez. Participan Tecnia, Ibermática Fundazioa, Ikerlan, Lortek, Tekniker, Mondragon Unibertsitatea, UPV/EHU y Vicomtech, lo que revela una clara orientación hacia aplicaciones industriales más que hacia demostraciones puramente académicas. Esta capa resulta especialmente importante porque traduce la cuántica al lenguaje de un territorio fuertemente industrializado. En otras palabras, no se trata solo de “tener computación cuántica”, sino de explorar si puede aportar ventaja en optimización de procesos, diseño de algoritmos, planificación o simulación industrial.

Aquí conviene ser preciso: lo que está documentado públicamente es la existencia de un marco de investigación aplicada en computación y simulación cuántica para industria, no una cartera cerrada de productos o despliegues ya estabilizados. Por eso, esta parte del informe funciona mejor si se presenta como área de experimentación industrial prioritaria y no como mercado cuántico consolidado. Aun así, es una de las secciones más fuertes del caso vasco porque conecta bien con su especialización productiva y con la lógica de centros tecnológicos del territorio.

Materiales, química y simulación científica

Un tercer bloque relevante es el de simulación de materiales, química cuántica y modelización científica, estrechamente vinculado a la infraestructura IBM-Euskadi, a Ikerbasque y a la red científica regional. IBM ha subrayado que el System Two abre nuevas oportunidades de aplicación en diseño de materiales, simulación biomédica, optimización de procesos industriales y mejora de algoritmos de inteligencia artificial. Por su parte, los eventos y workshops promovidos por BasQ en 2025 muestran que una parte importante de la comunidad técnica vasca está trabajando en algoritmos cuánticos para física y química, métodos de optimización, Monte Carlo cuántico, criptografía y acoplamiento entre computación cuántica y

HPC. Este punto importa porque revela una orientación aplicada que va más allá del cálculo abstracto: la simulación cuántica interesa precisamente porque ciertos materiales, moléculas o sistemas físicos son muy difíciles de modelizar con métodos clásicos. Un ejemplo simple sería estudiar las propiedades de un nuevo material energético o farmacéutico con mayor precisión que la que permite un modelo tradicional.

En esta área, sin embargo, sería más prudente no atribuir todavía proyectos clínicos o farmacológicos muy concretos – como colaboraciones específicas con hospitales concretos o fármacos determinados – salvo que dispongas de una fuente pública directa. Lo que sí parece defendible es presentar salud y biomedicina como un ámbito de aplicación potencialmente prioritario, mencionado en la estrategia BasQ y en la narrativa de IBM, pero todavía en una fase de desarrollo más conceptual y de laboratorio que de adopción clínica real.

Seguridad, criptografía y comunicaciones

El ámbito de seguridad y criptografía post-cuántica aparece de forma visible en la agenda pública del ecosistema vasco, aunque más como área de preparación y capacitación que como despliegue masivo confirmado. BasQ organizó en 2025 eventos específicos como From Quantum Computing to Security, orientados a explorar la relación entre computación cuántica, seguridad y nuevas necesidades criptográficas. Además, los workshops técnicos promovidos desde el ecosistema incluyen criptografía cuántica entre sus temas principales. Esto sugiere que Euskadi está intentando construir una base de conocimiento aplicada en seguridad, especialmente útil para un territorio con fuerte presencia industrial, energética y de infraestructuras críticas. Lo que no conviene hacer es sobredimensionar esta dimensión afirmando ya usos extensivos de QKD o migraciones post-cuánticas completas en empresas concretas si no hay fuentes públicas suficientemente sólidas para ello.

En otras palabras, la seguridad debe entenderse aquí como un campo de readiness. *Readiness* significa preparación anticipada: desarrollar capacidades, conocimiento y primeros ensayos antes de que una obligación operativa o regulatoria haga imprescindible el despliegue. Un ejemplo sería formar a equipos empresariales para comprender qué implicaría migrar una red crítica a algoritmos post-cuánticos, aunque esa migración todavía no se haya completado.

Transporte, logística y movilidad

Para transporte y logística, la evidencia pública es más débil y conviene redactar con cautela. Existen razones para pensar que este sector podría convertirse en uno de los campos naturales de aplicación en Euskadi, dada la estructura industrial regional, el peso de la movilidad avanzada y la presencia de empresas de transporte, manufactura y puertos. Además, startups como Global Data Quantum trabajan precisamente en transporte y logística, usando algoritmos avanzados de análisis y optimización. Sin embargo, no he encontrado, en esta revisión, confirmación suficientemente sólida para afirmar ya proyectos cuánticos específicos de CAF, despliegues de Euskaltel o iniciativas operativas concretas del Puerto de Bilbao con el mismo nivel de certeza que en energía o KUBIT. Por ello, este sector encaja mejor en la sección como ámbito de alto potencial y experimentación inicial, más que como vertical con pilotos confirmados extensamente documentados.

Espacio, defensa y tecnologías duales

La dimensión dual-use – es decir, de aplicaciones con posible uso tanto civil como de seguridad o defensa – forma parte del marco estratégico del ecosistema, pero su expresión en casos de uso concretos todavía parece más incipiente que en energía o IA industrial. BasQ y la estrategia europea posterior a 2025 colocan claramente a las tecnologías cuánticas dentro de una agenda de soberanía tecnológica, seguridad y resiliencia, y el ecosistema vasco ha mostrado interés en esta intersección. Sin embargo, en esta revisión no he encontrado evidencia pública suficiente para sostener con plena seguridad afirmaciones específicas como radares cuánticos operativos, navegación inercial desplegada o criptografía satelital ya estructurada desde Euskadi. Por tanto, aquí conviene formularlo como una línea estratégica emergente, no como un conjunto ya asentado de aplicaciones regionales verificadas.

5.4 Talento y formación

El desarrollo del ecosistema cuántico vasco depende menos de la mera existencia de infraestructura que de su capacidad para generar una base humana suficiente para utilizarla, expandirla y traducirla en aplicaciones científicas e industriales. En este sentido, la formación no es un componente auxiliar del proyecto BasQ, sino una condición estructural de su viabilidad. La instalación del IBM Quantum System Two y la consolidación de BasQ como estrategia territorial solo producirán efectos duraderos si Euskadi logra articular un flujo continuo de estudiantes, personal investigador, profesorado, técnicos y profesionales de

empresa capaces de operar en la intersección entre física, computación, ingeniería y aplicaciones sectoriales. Por ello, la política de talento vasca combina tres niveles complementarios: formación reglada, capacitación práctica orientada a uso de infraestructura y atracción/retención de personal investigador avanzado.

Formación reglada universitaria

El principal pilar académico es el Máster en Ciencia y Tecnología Cuánticas de la UPV/EHU, un programa presencial de 60 créditos, impartido en inglés, con 25 plazas y una duración de un curso. La universidad lo presenta como un programa especializado orientado tanto a la adquisición de fundamentos avanzados como a la integración del estudiantado en entornos de investigación. Además, subraya que se trata del único programa de máster en España centrado específicamente en Ciencia y Tecnología Cuánticas, con una fuerte conexión con una de las constelaciones científicas más activas de Europa en este campo. Esto importa porque dota al ecosistema vasco de una base formativa reglada propia, reduciendo su dependencia de talento externo y permitiendo construir un pipeline local de investigadores y profesionales. Un ejemplo simple sería que una estudiante formada en Bilbao pueda pasar del máster a un grupo de investigación o a una empresa del ecosistema sin necesidad de salir de la región para adquirir la especialización inicial.

Capacitación práctica y formación para usuarios

Más allá del posgrado universitario, BasQ ha desarrollado una línea de formación aplicada especialmente relevante: el programa Road to Practitioner (R2P), impulsado en colaboración con IBM. La primera edición arrancó en febrero de 2025 con más de 50 participantes procedentes de empresa, centros tecnológicos, profesorado universitario y formación profesional, combinando fundamentos teóricos de computación cuántica con programación en Qiskit, ejercicios prácticos y orientación aplicada. En 2026 se lanzó una segunda edición con 70 participantes, concebida explícitamente como instrumento para capacitar a los distintos actores del ecosistema en el uso efectivo de la infraestructura cuántica desplegada en Euskadi y avanzar hacia el objetivo estratégico de alcanzar un uso pleno del System Two antes de finales de ese año. Esta iniciativa es especialmente importante porque desplaza la formación desde la especialización académica clásica hacia la habilitación de usuarios reales del ecosistema. En lenguaje sencillo, no se trata solo de enseñar teoría cuántica, sino de formar a personas que puedan programar, experimentar y evaluar aplicaciones sobre herramientas concretas.

Cursos, workshops y comunidad técnica

A esta formación estructurada se suma una capa de especialización técnica más fina, articulada a través de workshops y seminarios impulsados por BasQ y sus socios. Un ejemplo claro es Beyond VQE, organizado en enero de 2025 como sesión técnica especializada dirigida a profesionales de computación cuántica, química cuántica, ciencia de materiales y física de la materia condensada. La sesión abordó algoritmos híbridos cuántico-clásicos, limitaciones del VQE (*Variational Quantum Eigensolver*, un algoritmo híbrido usado para estimar energías de sistemas cuánticos) y enfoques más recientes como SQD y KQD. Esto importa porque muestra que el ecosistema vasco no está construyendo solo alfabetización básica, sino también espacios de profundización técnica para personal ya especializado. Un ejemplo simple sería una persona investigadora o ingeniera que ya domina fundamentos de computación cuántica y necesita actualizarse en algoritmos concretos aplicables a química computacional o materiales.

Atracción y retención de personal investigador

La segunda gran pata del talento vasco es la captación de investigadores de alto nivel, donde Ikerbasque sigue siendo el actor fundamental. La estrategia BasQ descansa en buena medida en la capacidad del sistema vasco para atraer personal internacional y consolidar grupos de investigación competitivos en física, materiales, algoritmos y tecnologías cuánticas. Aunque la evidencia más visible en la conversación pública suele centrarse en el System Two, el verdadero efecto estructural se juega en esta capa: sin personal investigador estable y de excelencia, la infraestructura no se convierte en ecosistema. En la práctica, esto significa sostener contratos, grupos y trayectorias científicas en ámbitos como fotónica cuántica, simulación, ciencia de materiales, metrología y computación. Es importante porque el cuello de botella del sector cuántico no es solo financiero o infraestructural, sino también humano; un ejemplo sería disponer de acceso a hardware de primer nivel, pero carecer de suficientes expertos capaces de diseñar circuitos, validar algoritmos o traducir problemas industriales a formulaciones computacionales adecuadas.

Formación continua e hibridación con empresa

Una de las fortalezas del modelo vasco es que parte de la capacitación se está orientando también hacia profesionales fuera del circuito estrictamente universitario. El programa R2P incluye explícitamente a personas procedentes de empresas y centros tecnológicos, y la composición de sus cohortes muestra una voluntad de mezclar perfiles de academia, industria

y formación profesional. Esto es particularmente relevante en un territorio cuya ventaja comparativa depende de conectar la cuántica con sectores industriales existentes. En otras palabras, el objetivo no es solo producir doctores en física, sino crear una base más amplia de profesionales capaces de dialogar con la tecnología cuántica desde la ingeniería, la analítica o la gestión de innovación. Un ejemplo sería un ingeniero industrial o de datos que no vaya a convertirse en investigador cuántico puro, pero sí en usuario informado capaz de evaluar cuándo una herramienta cuántica o cuántico-inspirada podría ser útil para su organización.

Nuevas infraestructuras educativas y alfabetización cuántica

Además, el ecosistema vasco parece estar ampliando su infraestructura educativa en sentido amplio. En octubre de 2025 se anunció que el edificio María Goyri del Campus de Bizkaia albergaría el futuro EHU Quantum Center, con la ambición de reunir investigación, empleo, industria y apoyo a startups, incluyendo también un aula Quantum para formación específica y un laboratorio de alfabetización cuántica en la Escuela de Ingenieros. Aunque esta información procede de cobertura periodística y conviene tratarla como desarrollo en consolidación más que como estructura plenamente institucionalizada, apunta en una dirección importante: el paso desde la formación de élite hacia una alfabetización cuántica más extendida. Esto importa porque la madurez del ecosistema no depende solo de expertos punteros, sino también de una comunidad más amplia que entienda mínimamente qué son estas tecnologías y cómo pueden afectar a la industria y la política pública.