

# Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE



# Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE

Íñigo Arizaga, Guillermo Gil,  
Ana Ayerbe, Judith Arnal  
y Raquel Jorge Ricart

© 2025 Real Instituto Elcano  
C/ Príncipe de Vergara, 51  
28006 Madrid  
[www.realinstitutoelcano.org](http://www.realinstitutoelcano.org)

ISSN: 225-5293

Depósito Legal: M-8692-2013



El papel utilizado en este documento tiene el certificado del  
Forest Stewardship Council®

# Índice

Presentación	3
Resumen ejecutivo	5
<b>1</b> Introducción: las tecnologías cuánticas como activo estratégico	7
<b>2</b> Marco normativo y económico	15
<b>3</b> Políticas públicas, estrategias e instrumentos en diferentes países	23
<b>4</b> El caso de España	31
<b>5</b> Claves para maximizar la oportunidad cuántica	39
Conclusiones	49
Autores	50



# Presentación

**José Juan Ruiz**  
**Presidente del Real Instituto Elcano**

Es un honor presentar este análisis, elaborado junto a nuestro patrono TECNALIA, sobre la revolución cuántica, una transformación que, pese a tener aún mucho desarrollo por delante, puede tener un impacto tanto o más trascendental que la inteligencia artificial. La computación, las comunicaciones y la sensórica cuánticas no sólo redefinirán sectores clave como la salud, la energía y la seguridad, sino que contribuirán a la autonomía estratégica de la Unión Europea (UE) y reforzarán nuestra productividad y crecimiento económico.

Aunque la UE es la segunda jurisdicción que mayor inversión pública destina a tecnologías cuánticas, no consigue movilizar inversión privada a la altura de Estados Unidos (EEUU). En este contexto, es fundamental distinguir las diferentes tecnologías y determinar por qué vector conviene apostar en la UE y, en particular, en España, un *hub* con potencial gracias a su tejido empresarial e investigador. Es probable que en computación cuántica haya una única tecnología ganadora y, por desgracia, otros llevan la delantera. Pero en comunicaciones y, sobre todo, sensórica cuántica, la partida está abierta. De ahí que debamos realizar apuestas delimitadas, pero firmes y decididas, para conseguir ser líderes en vectores clave.

España ha avanzado con iniciativas como Quantum Spain, el Plan Complementario de Comunicación Cuántica y el PERTE

**Jesús Valero**  
**Director general de TECNALIA**

La computación cuántica está llamada a revolucionar la industria de nuestro siglo y la carrera mundial por posicionarse ha comenzado. Esta nueva revolución cuántica es la oportunidad de Europa para desarrollar nuevas capacidades digitales en un contexto emergente en el que todavía no se han decidido los líderes. No obstante, la inversión está siendo determinante en la apuesta que cada potencia está realizando por ella: EEUU y China ya están a la cabeza, pero los países punteros de Europa se están esforzando por ser un referente en esta carrera tecnológica, donde la actividad de las *start-ups* está siendo determinante y marca un nuevo rumbo para la industria.

Es un gran reto y España tiene un apasionante camino por recorrer. Cuenta con la capacidad científica, con iniciativas estratégicas en marcha, con apoyo institucional y una cadena de valor interesada en esta tecnología. Es el momento, por tanto, de crear las capacidades y las condiciones para que el país cuente a medio plazo con una industria de muy alto valor añadido de productos cuánticos, empezando por la sensórica cuántica, la disciplina más cercana al mercado. Es el momento de industrializar la digitalización y recuperar posiciones en una carrera donde la innovación y la colaboración serán los principales ganadores. Todo ello sin perder de vista que nuestro país no debe caminar solo, sino que forma parte del proyecto europeo.

## Presentación

Aeroespacial, además de ecosistemas en el País Vasco, Cataluña y Galicia, entre otros. Sin embargo, persisten desafíos como la fragmentación de esfuerzos, la necesidad de un enfoque de “cadena de valor de la cuántica” que permita tener políticas públicas afinadas a cada fase de desarrollo de esta tecnología y, como decía, la escasa inversión privada.

En 2025, la ONU celebra el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas, subrayando la magnitud de esta revolución. La UE y España aún pueden contribuir a este salto hacia el futuro. Pero el tiempo apremia. Este informe es una llamada a la acción. No podemos permitirnos el lujo de ser meros espectadores. El futuro de la tecnología cuántica está en juego y, con él, nuestro papel en el mundo.

Porque la innovación y la colaboración son la vía para avanzar y crear nuevos caminos. Este estudio es la prueba de ello. El Real Instituto Elcano acompaña a TECNALIA una vez más en el análisis de las necesidades de nuestros mercados y nuestros países, para impulsar su competitividad y favorecer su sostenibilidad en un futuro de incertidumbre. Sean, por tanto, estas páginas una puerta para la reflexión y, sobre todo, una llamada a la acción.



# Resumen ejecutivo

Las tecnologías cuánticas representan una oportunidad estratégica para Europa y España en un contexto de competencia global con Estados Unidos (EEUU) y China. La computación cuántica, las comunicaciones cuánticas y la sensórica cuántica tienen el potencial de transformar sectores clave como la ciberseguridad, la industria, la salud y la defensa. Sin embargo, Europa se enfrenta a barreras como la fragmentación regulatoria, la escasez de inversión privada y la falta de una estrategia unificada.

Para maximizar su impacto, España debe centrar su apuesta en áreas de alta especialización y menor competencia global, como la sensórica cuántica y los *chips* cuánticos para defensa y biotecnología. Es esencial fortalecer la coordinación público-privada, acelerar la transferencia de conocimiento y consolidar ecosistemas industriales viables. La inversión en infraestructuras científico-tecnológicas, la creación de incentivos para la financiación privada y el impulso de iniciativas como Quantum Spain y el PERTE Chip son claves para asegurar la competitividad del país en esta revolución tecnológica.

La Unión Europea (UE) debe adoptar un enfoque más integrado con instrumentos como la *Quantum Act* y la Plataforma STEP para potenciar la soberanía tecnológica. España, con una apuesta clara y concentrada, puede convertirse en un actor relevante en esta nueva era cuántica.

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper



# 1. Introducción: las tecnologías cuánticas como activo estratégico

En septiembre 2024, la Comisión Europea publicó el informe encargado a Mario Draghi sobre el futuro de la competitividad europea.<sup>1</sup> Según el análisis proporcionado por Draghi, uno de los principales factores que explica la creciente brecha de competitividad entre la UE y otras jurisdicciones como EEUU o China es la innovación y adopción más lenta de las tecnologías avanzadas, especialmente de las digitales. La Inteligencia Artificial (IA), la tecnología de la nube y la computación cuántica proporcionan claros ejemplos en este sentido: el 70% de los modelos fundacionales de IA se han desarrollado en EEUU desde 2017; tres hiperescalares estadounidenses concentran más del 65% de la cuota de mercado global de nube; de las 10 empresas que más invierten a nivel global en computación cuántica, cinco son estadounidenses, cuatro chinas y ninguna de la UE.

Esta situación se ve agravada por una regulación compleja y fragmentada, una inversión insuficiente en investigación y desarrollo, y la falta de una estrategia coordinada a nivel europeo para abordar estos desafíos.<sup>2</sup> Todo ello pone en riesgo la capacidad de la UE para mantener su liderazgo industrial y tecnológico en el futuro.

Ahora estamos asistiendo al nacimiento de una nueva generación de tecnologías disruptivas digitales. Es la denominada “segunda revolución cuántica”. En la primera, hace casi 100 años, se generaron los fundamentos teóricos de lo que hoy denominamos Transformación Digital. En esta nueva revolución, estamos aprendiendo a manipular de manera controlada la materia a escala atómica para aprovechar los procesos basados en las propiedades de la mecánica cuántica. Estamos creando nuevos desarrollos tecnológicos para computación, comunicación y detección que explotan esta manipulación y que formarán posiblemente una nueva generación de infraestructuras para la operación de la sociedad

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

1 Draghi, M. (n.d.), *EU competitiveness: Looking ahead*, [https://commission.europa.eu/topics/strengthening-european-competitiveness/eu-competitiveness-looking-ahead\\_en](https://commission.europa.eu/topics/strengthening-european-competitiveness/eu-competitiveness-looking-ahead_en)

2 Arnal, J., & Feás, E. (2023), “Competitiveness: The widening gap between the EU and the US”, ARI, Real Instituto Elcano, 29/X/2024.

en un futuro próximo. Aunque son tecnologías nóveles, ofrecen la promesa de sobrepasar muy significativamente en impacto a sus contrapartes clásicas. Si bien en sus primeras etapas tendrán un efecto incremental sobre las tecnologías actuales, a largo plazo ofrecen un potencial profundo y disruptivo de transformación.

**El esfuerzo para desarrollar la tecnología de Computación Cuántica Universal está siendo frenético, con miles de millones de inversión y un escenario para lograrlo de entre cinco o 10 años.**

Más allá de su impacto en la productividad y competitividad, hay un elemento clave adicional vinculado con la garantía para la soberanía y autonomía tecnológica, que tiene repercusiones no sólo en la economía, también en la seguridad y defensa de las naciones en el siglo XXI. Por ello, estas

tecnologías cuánticas están llamadas a revolucionar las cadenas de valor de la industria global. Su dominio es un elemento de competitividad fundamental para la industria y un camino para garantizar la futura prosperidad de las regiones.

Debido a esta naturaleza habilitadora y transformadora, el desarrollo en este ámbito está siendo impulsado tanto por los gobiernos como por las grandes empresas y las *start-ups*, con muchas decenas de miles de millones de euros en financiación e inversiones en los últimos años.

## 1.1. Principales áreas y aplicaciones de las tecnologías cuánticas

Aunque la Computación Cuántica es el centro de atención de muchas estrategias y foco en los medios, las tecnologías cuánticas abarcan realmente tres disciplinas: (1) la Computación y Simulación Cuántica, (2) las Comunicaciones y Ciberseguridad Cuánticas, y (3) la Sensórica y Metrología Cuántica. Se desarrollan a partir de los mismos principios de la mecánica cuántica, pero atienden a diferentes problemas y necesidades, y, por tanto, tienen cadenas de valor y estructuras de agentes diferentes, tal y como se detalla a continuación.

Empezando con la Computación y Simulación Cuántica, en la actualidad, hay una carrera en el desarrollo de procesadores cuánticos que utilizan diversas tecnologías alternativas, como superconductores, fotónica, diamante, semiconductores, gases o iones atrapados. Se trata de plataformas de computación muy limitadas en capacidad e inestables,<sup>3</sup>

**Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE**

**Elcano Policy Paper**

<sup>3</sup> Bharti, K., et al. (2022), "Noisy intermediate-scale quantum (NISQ) algorithms", *Reviews of Modern Physics*, 94(1), 015004, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.94.015004>

que no pueden operar en condiciones de mercado, y que sirven fundamentalmente para aplicaciones de experimentación e investigación, proporcionadas a través de la nube. Son procesadores ruidosos y colapsan a los pocos milisegundos, lo que les limita a realizar cálculos muy simples.<sup>4</sup> El esfuerzo para desarrollar la tecnología de Computación Cuántica Universal, que supere las limitaciones de los sistemas actuales, está siendo frenético, con miles de millones de inversión y con un escenario para lograrlo que se extenderá en el futuro, posiblemente, por cerca de cinco o 10 años más. Uno de los principales motores de desarrollo de esta disciplina es su capacidad demostrada para el criptoanálisis.<sup>5</sup> Algunos de los sistemas criptográficos actuales más utilizados son vulnerables a la computación cuántica, por lo que disponer de una máquina capaz de hacerlo es un hito singular. Además, se considera que la computación cuántica será clave para determinados problemas computacionales que son muy complejos o intratables para los sistemas clásicos, como los de optimización combinatoria<sup>6</sup> –muy extendidos en el mundo empresarial– o los de simulación atómica<sup>7</sup> o molecular.<sup>8</sup> Es importante resaltar que la computación cuántica no viene para sustituir a la computación clásica: presenta ventajas para la resolución de determinados problemas y, por consiguiente, tanto la computación clásica como la cuántica convivirán complementándose entre sí.

Siguiendo con las Comunicaciones y Ciberseguridad Cuánticas, existen en este apartado dos grandes líneas. Una de ellas, clásica, se centra en el desarrollo de algoritmos de cifrado resistente al ataque de un ordenador cuántico conocidos como algoritmos de Cifrado Post-Cuántico (PQC, *Post Quantum Cryptography*).<sup>9</sup> La otra línea consiste en los nuevos métodos para las comunicaciones intrínsecamente seguras, como la Distribución Cuántica de Claves (QKD, *Quantum Key Distribution*).<sup>10</sup> En este contexto, la iniciativa europea EuroQCI (*European Quantum Communication Infrastructure*)<sup>11</sup> es fundamental para la creación de una infraestructura de comunicaciones segura mediante tecnologías cuánticas, que es clave para que Europa mantenga su soberanía tecnológica y seguridad. En un futuro

4 Preskill, J. (2018), “Quantum computing in the NISQ era and beyond”, *Quantum*, 2, 79, <https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79>

5 Shor, P. W. (1997), “Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer”, *SIAM Journal on Computing*, 26(5), 1484–1509.

6 Farhi, E., et al. (2014), “A quantum approximate optimization algorithm”, *arXiv preprint*, <https://arxiv.org/abs/1411.4028>

7 Babbush, R., et al. (2018), “Low-depth quantum simulation of materials”, *Physical Review X*, 8(1), 011044, <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.8.011044>

8 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019), *Quantum Computing: Progress and Prospects*, The National Academies Press, <https://doi.org/10.17226/25196>

9 Bernstein, D. J., et al. (2017), “Post-quantum cryptography”, *Nature*, 549, 188–194, <https://doi.org/10.1038/nature23461>

10 Gisin, N., et al. (2002), “Quantum cryptography”, *Reviews of Modern Physics*, 74(1), 145–195, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.145>

11 Comisión Europea (2021), *EuroQCI: Towards a European Quantum Communication Infrastructure*, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/euroqci-towards-european-quantum-communication-infrastructure>

más lejano, propiedades como el entrelazamiento y la teleportación cuántica<sup>12</sup> abren posibilidades para el despliegue de una Internet del futuro intrínsecamente segura.

En tercer lugar, la Detección (o Sensórica) y Metrología Cuántica aprovechan la superposición coherente de estados cuánticos para realizar mediciones de campos electromagnéticos, eléctricos, gravitatorios y otros parámetros con una sensibilidad sin precedentes, miles de órdenes de magnitud mejores que las tecnologías actuales.<sup>13</sup> El tipo de aplicaciones que se pueden construir a partir de ahí es inmenso: en el campo de la salud (por ejemplo, resonancia magnética nuclear, *lab-on-a-chip*, diagnóstico...),<sup>14</sup> en el de la movilidad (giroscopios, sensores inerciales, radares),<sup>15</sup> en la industria (*tags*, inspección),<sup>16</sup> en la metrología (tamaño, tiempo, magnetismo...), etc. Y son aplicaciones especialmente interesantes porque, en esta segunda revolución, no sólo la capacidad de procesar y comunicar va a estar plenamente embebida en los productos y sistemas de nuestro entorno: la de percepción de alta sensibilidad también, desde vehículos a máquinas inteligentes.

Dentro de estas tres disciplinas deben considerarse también un conjunto de tecnologías “facilitadoras” vinculadas, normalmente clásicas y transversales, que son de gran interés como oportunidad, ya que resultan esenciales para hacer realidad las aplicaciones prácticas de la ciencia cuántica en cualquiera de estas disciplinas.

Las tres disciplinas, aunque emergentes, tienen un enorme potencial de revolucionar radicalmente sectores clave como la salud, la educación, la industria y los servicios, permitiendo una mayor eficiencia y productividad para el conjunto de la sociedad. Pueden, además, generar no sólo nuevos agentes que exploten productos y servicios basados en estas tecnologías; también podrían dar lugar a nuevos segmentos de actividad económica. Imaginemos un sistema de resonancia magnética portable que pudiera realizar diagnósticos precisos y accesibles en tiempo real, incluso con consultas a domicilio.

12 Bennett, C. H., et al. (1993), “Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels”, *Physical Review Letters*, 70(13), 1895–1899.

13 Giovannetti, V., Lloyd, S., & Maccone, L. (2004), “Quantum-enhanced measurements: Beating the standard quantum limit”, *Science*, 306(5700), 1330–1336, <https://doi.org/10.1126/science.1104149>

14 Barry, J. F., et al. (2016), “Optical magnetic detection of single-neuron action potentials using quantum defects in diamond”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(49), 14133–14138, <https://doi.org/10.1073/pnas.1601513113>

15 Bongs, K., et al. (2019), “Taking atom interferometric quantum sensors from the laboratory to real-world applications”, *Nature Reviews Physics*, 1(12), 731–739, <https://doi.org/10.1038/s42254-019-0117-4>

16 Rondin, L., et al. (2014), “Magnetometry with nitrogen-vacancy defects in diamond”, *Reports on Progress in Physics*, 77(5), 056503, <https://doi.org/10.1088/0034-4885/77/5/056503>

## 1.2. Cadenas de valor de las tecnologías cuánticas y estado de desarrollo

Las tres disciplinas conforman tres cadenas de valor diferentes que comparten los fundamentos cuánticos pero que atienden a diferentes problemas, necesidades y procesos de negocio en los mercados finales. La siguiente imagen representa estas cadenas de valor.

Figura 1. Cadenas de valor de las tres disciplinas cuánticas

Aux	Proveedores tecnológicos	Fabricantes	Integradores y servicios		Mercados	
Suministros auxiliares: criogenia, láseres, fabs...	Bases cuánticas (superconductores, iones atrapados, átomos neutros, fotónica, diamante, semiconductores, etc.)	Computación y simulación Procesadores	Plataformas de computación (digital, annealers)	Control y OS	Algoritmia, software y entornos	Salud personalizada
		Comunicación y cifrado Componentes (QKD, QRNG...)	Equipos (Fibra, aire, espacio, etc.)	Protocols y criptografía	Sistemas y redes ultraseguras	Industria inteligente
		Detección y metrología Sensores	Dispositivos (Tiempo, electromagnético, gravitacional...)	Instrumentación y procesado	Sistemas	Energías limpias
						Servicios
						Sector primario
						Nichos de oportunidad

Fuente: esquema propio inspirado en la presentación de David Shaw “The Quantum Value Chain”.

La Computación y Simulación Cuántica está en la misma cadena de valor que la Inteligencia Artificial “clásica” y sigue la misma ruta de negocio.<sup>17</sup> Sin embargo, se dirige a determinados problemas computacionales que no se pueden resolver eficientemente con los sistemas clásicos –o son intratables con estos–.<sup>18</sup> Un ejemplo de ello es la optimización de la entrega de mercancías conjunta y multimodal de múltiples agentes dentro de una ciudad, que puede resultar intratable seguramente para los medios clásicos. Como se mencionaba en la sección anterior, la inmadurez de la tecnología y su capacidad limitada actual hace que no haya todavía aplicaciones cuánticas “reales” en producción. Con la información disponible de hojas de ruta de fabricantes de *hardware*, es posible que en los próximos 3-5 años se progrese hacia soluciones “en producción”, posiblemente para problemas de optimización combinatoria y simulación.

**Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE**

**Elcano Policy Paper**

17 Schuld, M., & Petruccione, F. (2021), *Machine Learning with Quantum Computers*, Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83098-3>

18 Montanaro, A. (2016), “Quantum algorithms: An overview”, *NPJ Quantum Information*, 2, 15023, <https://doi.org/10.1038/npjqi.2015.23>

En el ámbito de las Comunicaciones y Ciberseguridad Cuánticas, QKD está comenzando a madurar<sup>19</sup> y su mercado está en continuo crecimiento.<sup>20</sup> Aunque su alcance hacia la protección del canal de comunicación limita sus aplicaciones comerciales a corto plazo, es de interés en escenarios críticos como defensa, energía, finanzas, salud y movilidad, así como otros sectores críticos para la UE, donde el canal es el uno de los principales elementos vulnerables desde la perspectiva de ciberseguridad.

Por otro lado, la migración a PQC, que es un proceso que no requiere la disponibilidad de *hardware* cuántico, es urgente para quienes usen información sensible.<sup>21</sup> El proceso de migración a sistemas “*quantum safe*” es complejo, porque los mecanismos de seguridad están muy distribuidos (en sistemas, tarjetas, TPV, pulseras, móviles, embebidos en dispositivos industriales...).<sup>22</sup> Por ello, se está desplegando una legislación europea<sup>23</sup> que fortalezca las inversiones en los sectores críticos europeos para que la migración sea lo más rápida posible.

El mercado de la Sensórica y Metrología Cuántica está mucho más cercano en el tiempo que el de las otras disciplinas. Aun utilizando las mismas bases técnicas, es posible construir ya aplicaciones de mercado con “ventaja cuántica” sobre sus alternativas convencionales.<sup>24</sup> De hecho, ya hay aplicaciones en TRL9 (*Technology Readiness Level*),<sup>25</sup> de nicho, en determinadas tecnologías: relojes cuánticos, SQUID,<sup>26</sup> etc. Es la disciplina con menos riesgo de que se dé el caso “*the winner takes it all*”,<sup>27</sup> en comparación con la de Computación y Simulación Cuántica. Tanto por su penetración sectorial como por la gran variedad de potenciales aplicaciones (PNT -Posicionamiento, Navegación y Tiempo, imagen, médicas, ensayos, trazabilidad...),<sup>28</sup> el mercado va a estar mucho más fraccionado, tanto en oferta como en demanda. Tiene así menos riesgo de que una tecnología resulte ganadora. Además, la UE tiene una posición

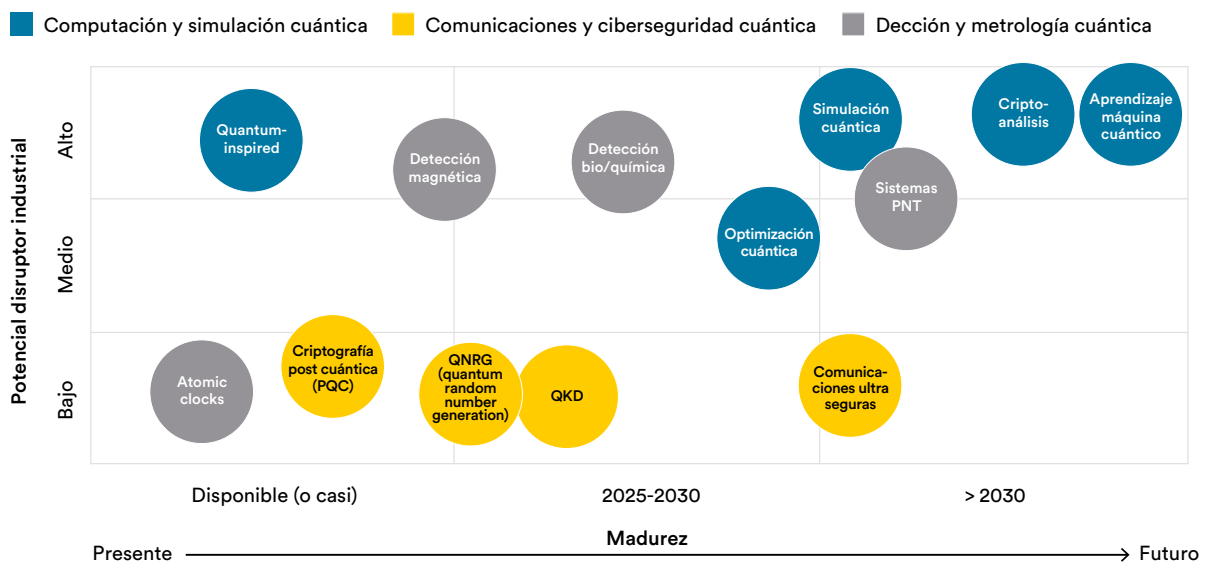
- 19 Xu, F., et al. (2020), “Secure quantum key distribution with realistic devices”, *Reviews of Modern Physics*, 92(2), 025002, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.92.025002>
- 20 Market Research Future (2022), *Quantum Key Distribution (QKD) Market Research Report – Forecast to 2030*, <https://www.marketresearchfuture.com/>
- 21 Mosca, M. (2018), “Cybersecurity in an era with quantum computers: Will we be ready?”, *IEEE Security & Privacy*, 16(5), 38–41, <https://doi.org/10.1109/MSP.2018.3761723>
- 22 Alagic, G., et al. (2020), “Status report on the second round of the NIST post-quantum cryptography standardization process”, *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8309>
- 23 European Union Agency for Cybersecurity (ENISA) (2021), *Post-Quantum Cryptography: Current state and quantum mitigation*, <https://www.enisa.europa.eu/>
- 24 Pezzè, L., et al. (2018), “Quantum metrology with nonclassical states of atomic ensembles”, *Reviews of Modern Physics*, 90(3), 035005, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.035005>
- 25 Ludlow, A. D., et al. (2015) “Optical atomic clocks”, *Reviews of Modern Physics*, 87(2), 637–701, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.87.637>
- 26 Clarke, J., & Braginski, A. I. (Eds.) (2004), *The SQUID Handbook: Fundamentals and Technology of SQUIDs and SQUID Systems*, Wiley-VCH.
- 27 Pirandola, S., et al. (2020), “Advances in quantum cryptography”, *Advances in Optics and Photonics*, 12(4), 1012–1236, <https://doi.org/10.1364/AOP.361502>
- 28 Tino, G. M., et al. (2014), “Precision gravity measurements with atom interferometry”, *Nuclear Physics B Proceedings Supplements*, 243–244, 203–217, <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2013.10.055>



más fuerte que en las otras dos disciplinas:<sup>29</sup> tiene menos dependencia tecnológica y de componentes críticos; hay también importantes capacidades científicas.

Un aspecto crítico para la consolidación de estas cadenas de valor y la apuesta por una determinada tecnología es el marco temporal para el desarrollo de productos y servicios, que es diferente para cada disciplina. Ya hay soluciones en TRL altos en Comunicación y Ciberseguridad Cuánticas, y, especialmente, en Sensórica. Aunque no existe un consenso sobre el marco temporal de estas disciplinas y sus aplicaciones, se pueden plantear determinados esquemas con cierto consenso, con la información actualmente disponible. La siguiente figura muestra un esquema, que confirma que las tecnologías más maduras son precisamente las de Detección y Metrología Cuánticas, y las de Comunicaciones y Ciberseguridad Cuánticas.

Figura 2. Grado de madurez de las distintas tecnologías cuánticas



Fuente: figura inspirada en los reportes de RAND Corporation, “An Assessment of U.S.-Allied Nations’ Industrial Bases in Quantum Technology”, Parker et al., (2023), [www.rand.org/t/RRA2055-1](http://www.rand.org/t/RRA2055-1).

La interpretación de este marco temporal viene modulada por elementos como el riesgo o el impacto positivo. Por ejemplo, en términos de riesgo, para los sectores financieros y otros críticos asociados a la seguridad o salud, que son objetivos prioritarios de la ciberdelincuencia, la disrupción que produciría un desarrollo acelerado de las aplicaciones de criptoanálisis es tan elevada que, independientemente de que se perciba

Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE

Elcano Policy Paper

29 Comisión Europea (2022), *Quantum Technologies Flagship: A New Era of Innovation in Europe*, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/>

como lejano, requiere de acciones de atención inmediatas. En cuanto al efecto positivo, aunque a la vista de los desarrollos en Computación y Simulación Cuántica parece que hay margen relativamente plausible (aproximadamente 5-8 años), el tiempo de asimilación para extraer valor es también más largo que en las tecnologías clásicas precedentes.

El mercado de Sensórica y Metrología Cuántica alcanzará antes que las otras dos disciplinas un volumen significativo, con un crecimiento posterior lineal, seguido por Comunicaciones y Criptografía Cuánticas, y Computación y Simulación Cuántica, teniendo esta última disciplina un comportamiento exponencial a partir de 2030-2032.<sup>30</sup> La Sensórica y Metrología Cuántica se beneficia de unas oportunidades mucho más diversificadas, en términos de tecnologías cuánticas y aplicaciones, con sectores como el de la defensa, seguridad y aeroespacial actuando como tractores de esta disciplina en el corto plazo. El despegue de la Computación y Simulación Cuántica vendrá marcado fundamentalmente por la evolución del hardware, mientras que, en Comunicaciones y Ciberseguridad Cuánticas, el motor de desarrollo de mercado será la migración a escenarios “*Quantum Safe*”.

La estandarización de estas tecnologías es otro elemento clave para el desarrollo de mercado.<sup>31</sup> Así, las agencias europeas de normalización CEN y CENELEC establecieron en marzo de 2023 un nuevo comité conjunto, el JTC22,<sup>32</sup> cuyo primer paso consistió en la identificación de las necesidades de normalización para todos los aspectos de las tecnologías cuánticas.<sup>33</sup> Mientras tanto, en España, UNE - Asociación Española de Normalización AENOR ha establecido un comité espejo del JTC22, el CTN 71/SC 14 QUANTUM TECHNOLOGIES.<sup>34</sup>

30 Yole Group, “Quantum Technologies 2024”, mayo 2024, <https://www.yolegroup.com/press-release/quantum-industry-a-new-gold-rush/>

31 Gilski, M., & Hinton, K. (2022), “Standards for quantum technologies: Challenges and opportunities”, *IEEE Communications Standards Magazine*, 6(2), 40–46, <https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.2022.9745203>

32 CEN-CENELEC (2023), *Joint Technical Committee 22 (JTC22) on Quantum Technologies*, <https://www.cencenelec.eu/>

33 CEN-CENELEC (2023), *CEN-CENELEC Workshop Agreement (CWA): Quantum Technology Standardization Needs*, <https://www.cencenelec.eu/>

34 UNE (2023), *Comité CTN 71/SC 14: Quantum Technologies*, Asociación Española de Normalización (UNE), <https://www.en.une.org/>

# 2. Marco normativo y económico

## 2.1. El potencial económico de las tecnologías cuánticas

Las tecnologías cuánticas aún se encuentran en una fase incipiente en comparación con otras verticales tecnológicas. No obstante, como se muestra en la Figura 3, en 2012, el volumen de operaciones de capital riesgo acumulado en los años anteriores en IA estuvo por debajo del acumulado por las tecnologías cuánticas en 2022. Esto plantea la cuestión en torno al potencial de las tecnologías cuánticas de evolucionar dentro de 10 años como lo está haciendo en estos momentos la IA.

**Figura 3. Volumen de operaciones de capital riesgo en IA y tecnologías cuánticas**

Volumen de operaciones de capital riesgo por millones de dólares				
Año	Tecnologías cuánticas		Inteligencia artificial	
	Volumen anual	Volumen acumulado 3 últimos años	Volumen anual	Volumen acumulado 3 últimos años
2012	107	321	2.244	5.556
2017	417	1.037	29.150	68.284
2022	2.078	5.613	76.828	261.090

Fuente: McKinsey y elaboración propia.

La Computación y Simulación Cuántica podría aportar hasta 850.000 millones de euros a la economía en los próximos 15 a 30 años a lo largo de una variedad de industrias, incluyendo la automoción, las transacciones financieras, la investigación científica o su combinación con tecnologías como la IA y la ciberseguridad, así como la seguridad de los sistemas defensivos y ofensivos de encriptación.<sup>35</sup>

En términos de capital invertido en *start-ups*, la importancia relativa de las tecnologías cuánticas es diferente, con la computación cuántica a la cabeza. En 2022 y 2023, se invirtieron 1.364 y 1.271 millones de dólares en *start-ups* dedicadas a la computación cuántica, respectivamente,

**Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE**

**Elcano Policy Paper**

<sup>35</sup> Candelon, François et al. (2022), "Can Europe Catch Up with the US (and China) in Quantum Computing?", Paris: BCG Henderson Institute.

en fuerte contraste con los 24 y 94 millones de euros en *start-ups* de comunicación cuántica, y 262 y 26 millones de euros en *start-ups* de sensorica.<sup>36</sup> Este diferente potencial se ve también proyectado hacia el futuro: de acuerdo con estimaciones del ITIF, casi el 90% del potencial de crecimiento del mercado cuántico se centrará en la computación cuántica, con las comunicaciones y la sensorica repartiéndose el 10% restante. A pesar de estas estimaciones, calcular la contribución específica de la “cuántica” en el mercado resulta altamente complejo, dada la dificultad de separarla de su contraparte clásica con la que va a trabajar de manera híbrida. En efecto, la cuántica va a activar aún más el mercado de IA clásica y de las tecnologías de soporte, como la nube.

También influye el horizonte temporal de estas estimaciones, ya que muchas de ellas se extienden incluso más allá de 2035. Algunos de los estudios con datos de mercado más próximos en el tiempo<sup>37</sup> sitúan el crecimiento mayor en sensorica y comunicaciones en los próximos cinco años, algo que es coherente con el estado de madurez de estas disciplinas respecto a las de computación y simulación cuántica. Otro elemento que añade complejidad a las estimaciones es, específicamente en el ámbito de Comunicaciones y Ciberseguridad Cuántica, si se contemplan juntas las de QKD, con hardware cuántico y todavía algo emergente, y las de PQC, que es una tecnología clásica que ya se puede desplegar en el mercado.

## 2.2. Principales agentes en tecnologías cuánticas: inversión, patentes y publicaciones

Para describir los principales agentes en el ámbito de la cuántica a nivel mundial se pueden considerar diferentes criterios, como el tipo de inversor (público o privado), la posición en la cadena de valor (*hardware*, *software*, servicios) o el liderazgo en cuestiones como publicaciones o patentes.

### 2.2.1. Liderazgo por inversiones

En el ámbito de las inversiones, es importante distinguir en función de su origen, público o privado. China es el país del mundo con mayor inversión pública en cuántica, con un total de 15.300 millones de euros en el período

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

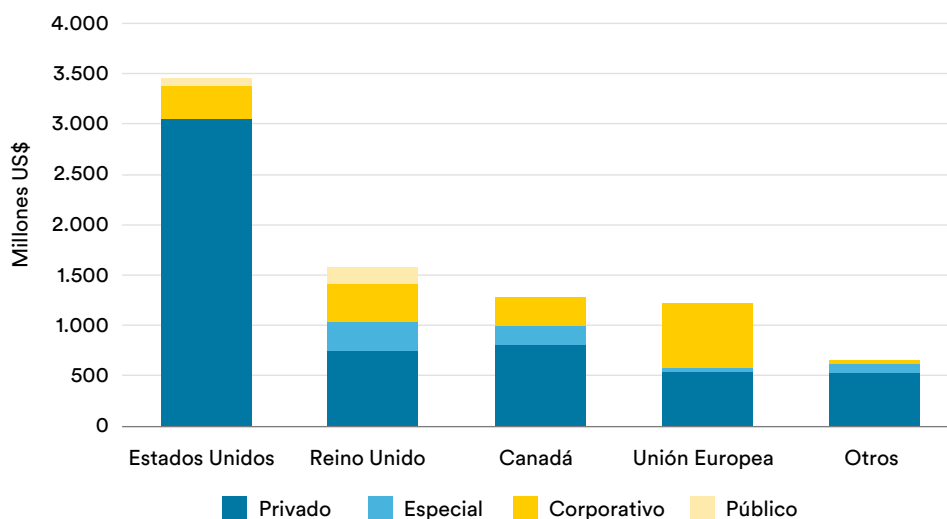
<sup>36</sup> McKinsey & Company (2024), *Quantum technology monitor: Steady progress in approaching the quantum advantage*, <http://www.mckinsey.com/%7E/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/steady%20progress%20in%20approaching%20the%20quantum%20advantage/quantum-technology-monitor-april-2024.pdf?shouldIndex=fals>

<sup>37</sup> Yole Group (2024), “Quantum Technologies 2024”, mayo, <https://www.yolegroup.com/press-release/quantum-industry-a-new-gold-rush/>

2021-2027.<sup>38</sup> En el mismo período, la inversión pública estimada de la UE y el conjunto de Estados miembros es de 10.900 millones de euros, resultando en la segunda región del mundo con mayor inversión pública después de China y por delante de EEUU, el tercer país en la lista.

EEUU es el líder indiscutible en movilización de inversión privada para las tecnologías cuánticas, como se puede apreciar en la Figura 4. A pesar del papel clave de la inversión privada en EEUU, la pública también ha aumentado de manera notable, en particular desde el lanzamiento de la *U.S. CHIPS and Science Act*, por la que se autorizaron programas de financiación<sup>39</sup> específicos en tecnología cuántica en un marco de tiempo desde 2023 hasta 2027 (o 2026, según la línea de financiación), con un total de 153 millones de dólares.

**Figura 4. Financiación captada por las empresas privadas de cuántica, 2022 (millones US\$)**



Fuente: McKinsey y elaboración propia.

Resulta llamativo que las empresas que atraen esta financiación privada no son principalmente *start-ups*, sino las empresas del ecosistema más establecidas en el tiempo, como IBM, Google, Microsoft, o empresas industriales y de investigación. Esto supone un claro factor diferencial entre EEUU y la UE: mientras que en EEUU son sobre todo las grandes empresas tecnológicas las que llevan adelante las principales inversiones en tecnologías cuánticas, en la UE la industria cuántica se basa en *start-ups* fundamentalmente. Son los casos de IQM y Bluefors (Finlandia), Pasqal y Alice&Bob (Francia), Plancq (Alemania), Delft Circuits y QBlox (Países Bajos) y Multiverse (España).

Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE

Elcano Policy Paper

38 McKinsey & Company (2024), *Quantum technology monitor: Steady progress in approaching the quantum advantage*, <http://www.mckinsey.com/%7E/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/steady%20progress%20in%20approaching%20the%20quantum%20advantage/quantum-technology-monitor-april-2024.pdf?shouldIndex=fals>

39 <https://www.quantum.gov/quantum-in-the-chips-and-science-act-of-2022/>

Y a pesar de que la industria cuántica en la UE se basa sobre todo en la actividad de las *start-ups*, las de la Unión sólo consiguen captar el 5% de la financiación privada total, frente al 50% de EEUU. Todo esto pone de manifiesto la naturaleza fuertemente bancarizada del sistema financiero de la UE, con un diseño regulatorio que, con sentido, no favorece la financiación por el sector bancario de proyectos de naturaleza tan arriesgada y habitualmente sin colateral.<sup>40</sup> Este hecho no constituye sino una prueba adicional de la urgencia de desarrollar los mercados de capitales en la UE, con una atención especial al sector del capital riesgo.<sup>41</sup> Y subraya la importancia de continuar y escalar iniciativas como la lanzada en 2018 por la Comisión Europea, la *Quantum Technologies Flagship*, que aglutinaba recursos de instituciones de investigación, la industria y financiadores públicos con un presupuesto de 1.000 millones de euros durante 10 años. Si bien es una cantidad financiera limitada, el proyecto ha permitido crear y atraer talento, el establecimiento de centros de experimentación y el lanzamiento de al menos 14 iniciativas cuánticas nacionales (NQI) en por lo menos 14 Estados miembros, sea a través de consorcios o esquemas de inversión I+D directos.

Pero no basta con levantar capital, ya sea público o privado. La fragmentación de las inversiones constituye un gran problema.<sup>42</sup> De hecho, la UE y sus Estados miembros son, después de China, los que mayores inversiones públicas destinan a las tecnologías cuánticas. En el caso concreto de la UE, la elevada fragmentación de las inversiones públicas les resta fuerte poder catalizador. De ahí la importancia de iniciativas como QuIC, el Consorcio Europeo de la Industria Cuántica, lanzado en 2021 y que busca mejorar la conectividad y el desarrollo a lo largo de la región.

### 2.2.2. Liderazgo por posición en la cadena de valor

En el campo del *hardware* de computación, hay más de 50 empresas trabajando en procesadores cuánticos en diferentes tecnologías, como superconductores, fotónica, iones atrapados, diamante, átomos fríos, semiconductores o topológicos. La carrera por el *hardware* es muy amplia y no está clara cuál será la tecnología ganadora. Algunos de estos agentes son: IBM, Google, Quantinuum, Rigetti, IonQ, Xanadu, D-Wave, PsiQuantum y QuEra.

A pesar de que estas empresas son las más avanzadas en el *hardware* de computación cuántica, existen más fabricantes, algunos de ellos

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

40 Lannoo, K., Thomadakis, A., & Arnal, J. (2024), *Staying ahead of the curve: Shaping EU financial sector policy under von der Leyen II*, Centre for European Policy Studies, <https://www.ceps.eu/ceps-publications/staying-ahead-of-the-curve/>

41 Arnal, J., & Thomadakis, A. (2024), *Are the European Commission's plans on financial services what the EU needs?* *Intereconomics*, 59(6), 319–326, <https://www.intereconomics.eu/contents/year/2024/number/6/article/are-the-european-commission-s-plans-on-financial-services-what-the-eu-needs.html>

42 Arnal, J. (2023), "Ten guiding principles to help cover the EU's investment needs", *ARI*, 11/X/2023, Real Instituto Elcano.

Europeos como IQM, AQM, PASCAL<sup>43</sup> o QILIMANJARO, éste último en España. Además, dentro de esta disciplina, otros grandes agentes, como Microsoft y Amazon, tienen aproximaciones diferentes permitiendo el acceso a múltiples plataformas de *hardware* cuántico, lo que facilita a desarrolladores experimentar sin grandes inversiones iniciales.<sup>44</sup>

En el plano de *software* y aplicaciones de computación cuántica, el abanico es mucho más extenso, pues supone la evolución natural de las tecnologías de IA, donde se encuentran todos los agentes del mundo clásico en Tecnologías de la Información. Aun así, han surgido algunas empresas especializadas, como CQC, QC WARE, la española MULTIVERSE COMPUTING, Q-CONTROL, RIVERLANE, SANDBOXAQ y 1QBIT. Como noticia negativa, en esta categoría, ZAPATA COMPUTING anunciaba su cierre en octubre 2024.<sup>45</sup>

En la disciplina de comunicación cuántica en la tecnología QKD, además de algunas grandes empresas del sector que ofrecen múltiples soluciones de seguridad, como TOSHIBA, NEC, IBM y HUAWEI,<sup>46</sup> se han generado otras nuevas especializadas en esta disciplina en los últimos años como ID QUANTIQUE, QUINTESENCELABS, QUBITEKK, MAGIQ TECHNOLOGIES y, en España, LUXQUANTA y QUSIDE.

En sensórica y metrología cuántica, existen en el mercado de defensa, espacio y seguridad agentes destacados, como LOCKHEED MARTIN, THALES, NORTHROP GRUMMAN, INFLEQTION, EXAIL, AOSENSE, TELEDYNE y MUQUANS,<sup>47</sup> y están surgiendo progresivamente nuevos agentes en sectores como Bio-Salud, como QNAMI, Q-ZABRE, QDTI y QDM.IO.

### 2.2.3. Liderazgo por publicaciones y patentes

En cuanto a patentes relacionadas con las tecnologías cuánticas, aunque EEUU estaría a la cabeza en número de patentes concedidas entre 2000 y 2023 como país individual (15.927), la UE ostentaría una posición similar sumando las patentes de los principales Estados miembros (por ejemplo, 6.792 en Alemania, 6.696 en Francia y 1.293 en Italia).<sup>48</sup> En términos de publicaciones de alto nivel en materia de cuántica, la UE está a la cabeza

43 European Quantum Industry Consortium (QuIC) (2023), *Quantum Industry Landscape in Europe*, <https://quantumindustry.eu/>

44 Smith-Goodson, P. (2023), "Microsoft and Amazon lead the way in democratizing quantum computing access", *Forbes*, <https://www.forbes.com/>

45 Quantum Daily (2024), "Zapata Computing announces closure amidst challenges in quantum software markets", <https://www.quantumdaily.com>

46 Lo, H.-K., Curty, M., & Tamaki, K. (2014), "Secure quantum key distribution", *Nature Photonics*, 8(8), 595–604, <https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.149>

47 European Defence Agency (EDA) (2023), *Quantum Technologies in Defence and Space*, <https://eda.europa.eu/>

48 McKinsey & Company (2024), *Quantum technology monitor: Steady progress in approaching the quantum advantage*, <http://www.mckinsey.com/%7E/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/steady%20progress%20in%20approaching%20the%20quantum%20advantage/quantum-technology-monitor-april-2024.pdf?shouldIndex=fals>



a nivel mundial, con un 24,3% del total de autores que contribuyeron en publicaciones relevantes en materia cuántica en 2022 y 2023, frente al 23% en China y el 17,4% en EEUU.<sup>49</sup>

### En términos de publicaciones de alto nivel en materia de cuántica, la UE está a la cabeza a nivel mundial.

A pesar del elevado número de patentes registradas en la UE, lo cierto es que las principales patentes concedidas son fundamentalmente de otras jurisdicciones, como queda de

manifiesto en la Figura 5. En efecto, sólo dos empresas o centros de investigación franceses (Thales y CNRS) están en el top 10 de patentes en sensores cuánticos y una finlandesa (Nokia) en comunicación cuántica. Ninguna empresa o centro de la UE figura en computación cuántica. Esto ya puede ofrecer una idea de los sectores de las tecnologías cuánticas en los que la UE puede mostrar una situación de ventaja comparativa.

En cuanto a España, contamos con algunas empresas que destacan en Comunicaciones y Sensórica.<sup>50</sup> En concreto, LUXQUANTA y QUSIDE son dos empresas emergentes en Comunicaciones y Ciberseguridad Cuántica, cada una con un enfoque específico en la seguridad de comunicaciones y la generación de números aleatorios cuánticos, respectivamente. También Oesía, con sus productos de QKD. En cuanto a Sensórica y Metrología Cuántica, con un mercado mucho más atomizado, los principales agentes en España son principalmente académicos y de investigación, como la UPV/EHU, la UC3M, la UMU, IMDEA NANOCIENCIA, CSIC, INMA, TECNALIA, ARQUIMEA o INDRA.

**Figura 5. Top 10 de empresas encargadas de principales patentes registradas en tecnologías cuánticas**

Posición	Comunicaciones cuánticas	Computación cuántica	Sensores cuánticos
1	Toshiba (Japón)	IBM (EEUU)	Lockheed Martin (EEUU)
2	Huawei (China)	Microsoft (EEUU)	Thales (Francia)
3	NEC (Japón)	Google (EEUU)	Honeywell (EEUU)
4	Alibaba (China)	Northrop Grumman (EEUU)	Harvard (EEUU)
5	Magiq Technologies (EEUU)	Intel (EEUU)	Northrop Grumman (EEUU)
6	ID Quantique (Suiza)	Fujitsu (Japón)	Element Six (Reino Unido)
7	LG Electronics (Corea del Sur)	Toshiba (Japón)	CNRS (Francia)
8	ETRI (Corea del Sur)	NEC (Japón)	KRISS (Corea del Sur)
9	Nokia (Finlandia)	Hitachi (Japón)	Instituto Tecnológico de Tokio (Japón)
10	Arqit (Reino Unido)	Quantinuum (Reino Unido)	MIT (EEUU)

Fuente: ITIF y elaboración propia.

Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE

Elcano Policy Paper

49 Nature Index (2023), *Global quantum research output by country*, <https://www.natureindex.com/>

50 Ministerio de Ciencia e Innovación-Gobierno de España (2023), *Spain's roadmap for quantum technologies*, <https://www.ciencia.gob.es/>



## 2.3. Liderazgos repartidos como resultado

Este panorama de fuertes inversiones públicas en China, elevada captación de inversiones privadas en EEUU y papel prominente para las grandes tecnológicas, e importantes inversiones públicas fragmentadas en la UE y con cierto papel para las *start-ups*, da como resultado una China líder en comunicaciones cuánticas,<sup>51</sup> también con presencia de otras jurisdicciones como la UE y Corea del Sur,<sup>52</sup> y un EEUU en computación cuántica, con un empate técnico en sensórica.<sup>53</sup>

Llama la atención especialmente el papel de seguidor de EEUU en materia de comunicaciones cuánticas seguras, que no estaría invirtiendo en espacios de experimentación ni demostraciones.<sup>54</sup> Esto contrasta totalmente con el corredor Pekín-Shanghái, que es la red QKD más larga del mundo y permite la comunicación entre ubicaciones muy alejadas con una combinación de fibra óptica y satélites, el EuroQCI, una iniciativa para desarrollar una red de comunicación cuántica a lo largo de la UE o inversiones similares en el caso de Corea del Sur.

En cambio, en el área del desarrollo de *hardware* y la sofisticación algorítmica cuántica, China está atrás y EEUU ha tomado un papel de liderazgo. Una vez más, como es propio de EEUU, está siendo más liderado por inversiones privadas, como es el caso de IonQ –que usa iones atómicos para representar cúbits– y Honeywell Quantum Solutions –que construye ordenadores cuánticos usando las propiedades de materiales superconductores–.

En cuanto a sensórica y metrología, EEUU y la UE son líderes en investigación básica y aplicaciones para defensa y exploración espacial. China se sitúa como un competidor fuerte gracias a su inversión masiva en tecnología cuántica, incluyendo sensores de gravimetría y magnetometría.

51 Kumar, S., et al. (2021), “China’s quantum communications network: The state of the art”, *Nature Photonics*, 15(10), 701–705, <https://doi.org/10.1038/s41566-021-00829-0>

52 Kwak, M. S., et al. (2022), “Quantum communication developments in Korea: A review”, *Applied Sciences*, 12(8), 4012, <https://doi.org/10.3390/app12084012>

53 Degen, C. L., Reinhard, F., & Cappellaro, P. (2017), “Quantum sensing”, *Reviews of Modern Physics*, 89(3), 035002, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.89.035002>

54 Quantum Economic Development Consortium (2024), *Quantum technology for securing financial messaging*, <https://quantumconsortium.org/ged-c-releases-new-report-quantum-technology-for-securing-financial-messaging/>



# 3. Políticas públicas, estrategias e instrumentos en diferentes países

Más de 30 gobiernos se han comprometido a destinar más de 40.000 millones de dólares de financiación pública a tecnologías cuánticas que se desplegarán en los próximos 10 años.<sup>55</sup> De estos gobiernos, más de 20 han formulado políticas coordinadas, financiación y hojas de ruta. Los laboratorios nacionales y los centros de computación cuántica han acelerado las aplicaciones prácticas con la aparición de centros y nodos dedicados a la computación cuántica. A continuación, se realiza un repaso de las políticas públicas más destacables en los países más avanzados en tecnologías cuánticas.

## 3.1. Estados Unidos

La gobernanza de las tecnologías cuánticas desde un punto de vista normativo y de política pública en EEUU se plasmó en 2018 en “*A National Strategic Overview for Quantum Information Science*”,<sup>56</sup> por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y que sentó las bases para la Iniciativa Nacional de Cuántica (NQI).<sup>57</sup>

EEUU ha puesto en marcha iniciativas legislativas que contemplan un enfoque coordinado a nivel federal para mejorar la investigación y el desarrollo de la tecnología cuántica con fines económicos y de seguridad nacional. También ha hecho hincapié en avanzar en la normalización

55 McKinsey & Company (2024), *Quantum technology monitor: Steady progress in approaching the quantum advantage*, <http://www.mckinsey.com/%7E/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/steady%20progress%20in%20approaching%20the%20quantum%20advantage/quantum-technology-monitor-april-2024.pdf?shouldIndex=fals>

56 National Science and Technology Council (2018), *A National Strategic Overview for Quantum Information Science*, Washington, D.C., [https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/2018\\_NSTC\\_National\\_Strategic\\_Overview\\_QIS.pdf](https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/2018_NSTC_National_Strategic_Overview_QIS.pdf)

57 U.S. Congress (2018), *National Quantum Initiative Act*, Public Law 115–368, <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227>

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

de protocolos de criptografía seguros desde el punto de vista cuántico,<sup>58</sup> lo que implica desarrollar nuevos algoritmos resistentes a la piratería informática, mediante un superordenador. Además, la NQI asigna fondos de inversión para avanzar en la investigación y el desarrollo de la QIS y abordar una amplia gama de retos cuánticos, como el desarrollo de la mano de obra y el compromiso de la industria.

### 3.2. China

China ha centralizado sus esfuerzos en investigación y desarrollo cuántico, facilitando la transición de la investigación a la aplicación práctica. En el núcleo de este avance se encuentra la Universidad de Ciencia y Tecnología de China (USTC), el principal centro de investigación cuántica del país.<sup>59</sup> Este papel central de la USTC responde en gran medida al respaldo de la Academia China de Ciencias (CAS), que ha contribuido a su posicionamiento. Desde 2017, el país ha concentrado cada vez más sus esfuerzos en áreas de alto impacto en esta institución, consolidando a la USTC como un eje de la investigación cuántica en China.

China también ha adoptado un enfoque centralizado en la financiación de la investigación cuántica,<sup>60</sup> estructurando los recursos a través de entidades como la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China (NSFC), que financia aproximadamente el 50% de las publicaciones del país en informática cuántica, detección cuántica y comunicaciones cuánticas. Este sistema de financiación permite una alineación clara de los recursos con los objetivos nacionales, facilitando el avance coordinado en proyectos de gran envergadura. Asimismo, China muestra disposición para financiar proyectos de tecnología cuántica de alto riesgo, incluyendo inversiones en prototipos de redes de comunicación cuántica, con el objetivo de avanzar en el desarrollo tecnológico.

### 3.3. Unión Europea

La estrategia que estipula los objetivos de la Década Digital indica que para 2025 se busca tener el primer supercomputador con aceleración cuántica que permitiría estar a la vanguardia de las capacidades cuánticas para 2030.<sup>61</sup> El Reglamento europeo de Chips, *Chips Act*, también incluye

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

58 Alagic, G., Alperin-Sheriff, J., Apon, D., Cooper, D., Dang, Q., Kelsey, J., ... & Yiu, K. (2022), *Status Report on the Third Round of the NIST Post-Quantum Cryptography Standardization Process*, National Institute of Standards and Technology (NIST), <https://csrc.nist.gov>

59 Australian Strategic Policy Institute (2022), *Science and technology in China during the 2018-2022 period*, <https://www.cipi.cu/ciencia-y-tecnologia-en-china-en-el-periodo-2018-2022/>

60 Xinhua News (2022), *National Natural Science Foundation of China increases budget to boost research*, [https://spanish.news.cn/2022-03/25/c\\_1310529300.htm](https://spanish.news.cn/2022-03/25/c_1310529300.htm)

61 Arnal, J., García García, E., & Jorge Ricart, R. (2024), "¿Están España y la UE progresando adecuadamente hacia los objetivos europeos de la Década Digital 2030?", *Policy paper*, Real Instituto Elcano, 8/IV/2024.

medidas para promover la fabricación a bajo coste y alto volumen de *chips* cuánticos,<sup>62</sup> con convocatorias de ayudas en esta línea dentro de la *CHIPS Joint Undertaking* (JU). Si bien la fabricación se ha convertido en un elemento importante por su estrecha vinculación con la política industrial y la seguridad económica, la investigación sigue siendo un pilar fundamental para llevar a cabo el resto de las acciones. Ya en 2018, como se ha indicado en la sección anterior, la UE creó el programa insignia *Quantum Technologies Flagship* y ha proseguido el camino para construir un ecosistema de supercomputación a través del *European High Performance Computing Joint Undertaking* (EuroHPC JU<sup>63</sup>), que ya ha anunciado seis ubicaciones<sup>64</sup> para los supercomputadores: Alemania, España, Francia, Italia, Polonia y la República Checa.

Sin embargo, para que las propuestas de la UE se pongan en ejecución, se requiere el apoyo de los Estados miembros. En diciembre de 2023, la Presidencia española del Consejo de la UE<sup>65</sup> lanzó la declaración en la que se reconoce la importancia estratégica de las tecnologías cuánticas para la competitividad industrial y científica de la UE. Los 27 países se comprometieron<sup>66</sup> a colaborar en el desarrollo de un ecosistema de tecnología cuántica de primera clase, con el objetivo último de convertirse en el “valle cuántico” del mundo, una idea que se alinea con la Nueva Agenda Europea de Innovación de 2022. Ya en 2019 se había firmado la declaración EuroQCI,<sup>67</sup> por la que la Comisión, los Estados miembros y la Agencia Espacial Europea se comprometían a desarrollar una infraestructura de comunicaciones cuánticas que cubriera la totalidad de la UE.

Otras iniciativas relevantes en el ámbito de la UE son el Acelerador del Consejo Europeo de Innovación (EIC),<sup>68</sup> la Iniciativa de Campeones

**En 2023, los Veintisiete se comprometieron a colaborar en el desarrollo de un ecosistema de tecnología cuántica de primera clase, con el objetivo último de convertirse en el “valle cuántico” del mundo.**

62 Arnal, J., García García, E., & Jorge Ricart, R. (2024), “Policies and tools for strengthening the European semiconductor ecosystem”, *Policy paper*, Real Instituto Elcano, 8/XI/2023.

63 Comisión Europea (n.d.), *High-Performance Computing Joint Undertaking*, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/high-performance-computing-joint-undertaking>

64 Comisión Europea (2023), *EU deploys first quantum technology in six sites across Europe*, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-deploys-first-quantum-technology-six-sites-across-europe>

65 Presidencia española del Consejo de la Unión Europea (2023), *España lidera iniciativas cuánticas en la UE*, [https://avance.digital.gob.es/gl-es/notasprensa/paginas/espana\\_lider\\_tecnologias\\_cuanticas\\_ue.aspx](https://avance.digital.gob.es/gl-es/notasprensa/paginas/espana_lider_tecnologias_cuanticas_ue.aspx)

66 Comisión Europea (2023), *European Declaration on Quantum Technologies*, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/library/european-declaration-quantum-technologies>

67 Comisión Europea (2019), *All Member States now committed to building EU quantum communication infrastructure*, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/news/all-member-states-now-committed-building-eu-quantum-communication-infrastructure>

68 Comisión Europea (2024), *EIC Accelerator 2024: Quantum technology start-ups secure grants and equity funding for innovative solutions*, <https://thequantuminsider.com/2024/09/23/eic-accelerator-2024-quantum-technology-start-ups-secure-grants-and-equity-funding-for-innovative-solutions/>

**Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE**

**Elcano Policy Paper**

Tecnológicos Europeos (ETCI)<sup>69</sup> y la Plataforma Europea de Tecnologías Estratégicas (STEP).<sup>70</sup>

El EIC ofrece inversiones de capital de hasta 15 millones de euros o más para tecnologías estratégicas como las cuánticas. Además, el Fondo Europeo de Inversiones ha lanzado el programa piloto Escalar, con 300 millones de euros, para canalizar capital de riesgo hacia la expansión de empresas en Europa. Estas iniciativas están dando resultados: la empresa finlandesa de *hardware* cuántico IQM,<sup>71</sup> por ejemplo, comenzó con una subvención de 2,5 millones de euros y 15 millones en inversiones de capital, logrando posteriormente atraer 128 millones de euros adicionales en capital de riesgo. Del mismo modo, la *start-up* franco-neerlandesa Pasqal<sup>72</sup> obtuvo 100 millones de euros en una reciente ronda de financiación “serie B”, con la participación del EIC, fondos nacionales de innovación e inversores privados. En España, Multiverse Computing<sup>73</sup> obtuvo una subvención de 2,5 millones de euros y 10 millones en inversiones de capital a finales de 2021.

**Para las industrias cuánticas emergentes en Europa, el reto será ver cuándo y cómo la financiación de la ETCI llegará a ellas, lo que probablemente requerirá también instrumentos más específicos.**

La ETCI también es relevante en este contexto. Gestionada por el Grupo del Banco Europeo de Inversiones (BEI), este “fondo de fondos” ha obtenido compromisos por 3.750 millones de euros de Bélgica, Francia, Alemania, Italia y España para apoyar a empresas tecnológicas avanzadas en su fase de crecimiento. Para las industrias cuánticas emergentes en Europa,

el reto será ver cuándo y cómo esta financiación llegará a ellas, lo que probablemente requerirá también instrumentos más específicos.

Asimismo, la UE ha impulsado la STEP, que será clave para fomentar la financiación pública en el sector cuántico en Europa debido a su enfoque en proyectos de desarrollo y fabricación en sectores fundamentales para la transición digital y verde, incluyendo tecnologías digitales e innovaciones de alta tecnología. La importancia de STEP radica en su capacidad para identificar y apoyar tecnologías con un fuerte impacto económico y estratégico, impulsando la fabricación y la independencia tecnológica en la UE. Además, STEP fomenta efectos positivos

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

69 Banco Europeo de Inversiones (2023), *European Tech Champions Initiative: Boosting European scale-ups*, [https://www.eif.org/what\\_we\\_do/news/2024/eib-group-showcases-progress-of-european-tech-champions-initiative-boosting-european-scale-ups-at-event-in-madrid.htm](https://www.eif.org/what_we_do/news/2024/eib-group-showcases-progress-of-european-tech-champions-initiative-boosting-european-scale-ups-at-event-in-madrid.htm)

70 Comisión Europea (2023), *Strategic Technologies for Europe Platform (STEP): Supporting digital and green transitions*, [https://strategic-technologies.europa.eu/about\\_en](https://strategic-technologies.europa.eu/about_en)

71 Comisión Europea (2024), *IQM: Finnish quantum hardware startup receives significant venture capital boost*, <https://ec.europa.eu>

72 Comisión Europea (2024), *Pasqal secures €100 million in Series B funding for quantum technologies*, <https://ec.europa.eu>

73 Multiverse Computing (2021), *Funding announcement: €2.5 million grant and €10 million investment for quantum financial solutions*, <https://multiversecomputing.com>

transfronterizos y la seguridad de suministro, lo que permite que las innovaciones cuánticas generen beneficios más amplios en el mercado interno de la UE y reduzcan las dependencias estratégicas de la región. Se alinea, asimismo, con la incorporación de las tecnologías cuánticas como una de las 10 tecnologías críticas bajo la Estrategia de Seguridad Económica propuesta por la Comisión Europea.

En cualquier caso, más allá de estas iniciativas, es necesario el establecimiento de prioridades y las modalidades preferentes de tecnología cuántica: comunicaciones, detección, computación u otros. Ahora, el ecosistema cuántico europeo enfrenta el desafío de transformar la investigación y la innovación en emprendimiento a una escala industrial. Este es un reto considerable, ya que el desarrollo cuántico requiere más capital que otras áreas tecnológicas emergentes, como los algoritmos de inteligencia artificial.

## 3.4. Estados miembros de la Unión Europea

Algunos Estados miembros están desarrollando planes estratégicos en materia cuántica. Alemania es uno de los países con mayor avance.<sup>74</sup> Además de haber lanzado su “Concepto de Acción para las Tecnologías Cuánticas” de 2023, Alemania es el mayor inversor público en tecnologías cuánticas dentro de la UE (46% del total), seguido de Francia en segundo lugar (26,3%). Alemania es el segundo país con más universidades ofreciendo cursos de máster en tecnologías cuánticas. También destaca en sensorica cuántica y láseres para tecnologías cuánticas, con el caso de Bosch –que colabora con Airbus para desarrollar sensores magnéticos cuánticos–.<sup>75</sup> TOPTICA Photonics, empresa alemana, supe de componentes a la industria cuántica estadounidense. Un caso práctico es el de OSRAM Opto Semiconductors, que ha adquirido la empresa estadounidense Vixar. También Alemania ha mostrado en el pasado interacciones con otros países, como China. En 2017 se produjo un avance notable cuando científicos austriacos y chinos establecieron un enlace de comunicación cuántica entre Pekín y Viena utilizando el satélite Mozi.

Países Bajos lanzó en 2019 la Agenda Nacional de Tecnología Cuántica, que se implementa a través del programa Quantum Delta NL.<sup>76</sup> Es un programa que cubre más áreas: no sólo la comercialización y el fomento

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

74 Lösing, C. (2023), “The new quantum technology race”, *Internationale Politik Quarterly*, <https://ip-quarterly.com/en/new-quantum-technology-race>

75 Friedrich, L. (2023), “Germany’s Quantum Action Concept and its leadership in quantum investment”, *Revista IDEES*, <https://revistaidees.cat/en/reptes-per-a-la-governanca-de-les-tecnologies-quantiques-a-europa/>

76 Quantum Delta NL (2019), *National Agenda for Quantum Technology in the Netherlands*, <https://www.quantumdelta.nl>

de una comunidad científica especializada, sino también el fomento la educación en cuántica y el desarrollo y uso ético de la misma.

En 2021, Francia lanzó su primera estrategia nacional, principalmente orientada a formar a nuevos talentos y crear empleo.<sup>77</sup> Es de particular interés que en el Plan de Inversiones Francia 2030 se incluya una sección única y exclusivamente dedicada a la tecnología cuántica.

Dinamarca adoptó la Estrategia de Investigación e Innovación en Cuántica como parte de la Estrategia Nacional de Tecnología Cuántica,<sup>78</sup> que en primera instancia se centra en I+D, pero incluye una segunda parte en comercialización y talento.

En Finlandia y Suecia, se están desarrollando iniciativas de sensibilización por parte de las universidades, empresas y centros de investigación – como la Agenda Finlandesa de Cuántica,<sup>79</sup> o la iniciativa Agenda Cuántica de Suecia– sobre la materia y cuyo objetivo es que el gobierno lance estrategias nacionales.

### 3.5. Reino Unido

La estrategia cuántica del Reino Unido es un plan integral diseñado para situar el país como líder mundial en tecnologías cuánticas, que incluyen computación, comunicaciones y sensores avanzados. Lanzada en 2014 y actualizada en 2023,<sup>80</sup> busca acelerar la comercialización de estas tecnologías, estimular la inversión privada y fomentar la colaboración entre academia, industria y gobierno. Un componente clave es el *National Quantum Technologies Programme* (NQTP), que ha recibido miles de millones de libras en financiación de proyectos de investigación aplicada y el desarrollo de infraestructura cuántica, como laboratorios y centros de innovación. Este enfoque incluye la capacitación de una fuerza laboral altamente especializada para atender las demandas de esta naciente industria.

La estrategia también enfatiza la seguridad y la soberanía tecnológica, reconociendo los riesgos asociados al avance cuántico, como la vulnerabilidad de los sistemas de criptografía actuales. Además, fomenta asociaciones internacionales para mantener el Reino Unido a la vanguardia en un sector competitivo. Entre sus objetivos clave están desarrollar sistemas cuánticos seguros, promover estándares globales y garantizar

77 Gobierno de Francia (2021), *France's National Quantum Strategy and 2030 Investment Plan*, <https://revistaidees.cat/en/reptes-per-a-la-governanca-de-les-tecnologies-quantiques-a-europa/>

78 Danish Ministry of Education and Research (2021), *National Quantum Technology Strategy: Research and Innovation for Denmark's Future*, <https://ufm.dk>

79 InstituteQ (2023), *Future Quantum Applications (FQA) – February 2023*, <https://instituteq.org/wp-content/uploads/2023/02/FQA-February-2023.pdf>

80 UK Government, (2023), *National Quantum Strategy*, <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy>



que los beneficios de estas tecnologías se difundan, desde aplicaciones en sanidad y energía hasta defensa y telecomunicaciones. Busca fortalecer la economía del conocimiento del país y preparar al Reino Unido para liderar en la próxima revolución tecnológica.

## 3.6. Canadá

Canadá publicó su primera Estrategia Nacional de Cuántica en 2022,<sup>81</sup> con tres pilares: convertir a Canadá en un líder mundial en cuántica, asegurar la privacidad y la ciberseguridad en su desarrollo y potencial despliegue y uso; y el apoyo al gobierno e industrias claves para ser desarrolladores y primeros adoptantes (*early adopters*) de tecnologías cuánticas.

## 3.7. Otras iniciativas

La India publicó en 2020 una Misión Nacional de Cuántica centrada en I+D,<sup>82</sup> con un mapeo y planificación de objetivos y recursos en el período 2023-2030. Japón es uno de los países que ha publicado una estrategia nacional de cuántica de carácter más técnico, ya que incluye una lista de aplicaciones tecnológicas específicas, detalla hojas de ruta, y ha sido actualizada con la Visión de una Sociedad Futura Cuántica en 2022.<sup>83</sup> La República de Corea<sup>84</sup> ha distinguido entre el Plan Estratégico Nacional para Tecnología y Ciencia Cuántica en 2021 centrada en I+D y comercialización, del plan de inversiones –de más de 2.000 millones de dólares– en ciencia cuántica, especialmente sensorica avanzada, con el fin de dominar el mercado en un 10% para 2035. Australia publicó en 2023 su primera estrategia nacional orientada a siete áreas diversas.

## 3.8. Colaboración entre países

Mientras que China y Rusia colaboran conjuntamente en algunos ámbitos, pero todavía no con los BRICS (ahora BRICS+20), sí lo hacen Australia, el Reino Unido y EEUU a través del acuerdo AUKUS Quantum, por el que se busca invertir conjuntamente en tecnologías cuánticas de posicionamiento, navegación y cronometraje. El grupo Quad (*Quadrilateral Security Dialogue*), formado por EEUU, Australia, India y Japón, incluye

81 Innovation, Science and Economic Development Canada (2022), *Canada's National Quantum Strategy*, <https://ised-isde.canada.ca/site/national-quantum-strategy/en/canadas-national-quantum-strategy>

82 Department of Science & Technology, Government of India (2020), *National Quantum Mission (NQM)*, <https://dst.gov.in/national-quantum-mission-nqm>

83 Council for Science, Technology and Innovation, Government of Japan (2022), *Vision for a Quantum Future Society*, [https://www8.cao.go.jp/cstp/english/outline\\_vision.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/outline_vision.pdf)

84 QTI Company (2023), *Unveiling the national quantum strategies worldwide*, <https://www.qticompany.com/unveiling-the-national-quantum-strategies-worldwide/>

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

## **Políticas públicas, estrategias e instrumentos en diferentes países**

proyectos conjuntos de investigación en tecnologías cuánticas como parte de sus esfuerzos de cooperación. Además, mientras que las alianzas que incluyen a EEUU dan prioridad a la navegación y criptografía post-cuántica, aquellas que incluyen a la UE o China se centran en la expansión de redes de comunicación cuántica.

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

# 4. El caso de España

## 4.1. Principales iniciativas públicas

A nivel español, las principales iniciativas en el ámbito de las tecnologías cuánticas, que están, en general, en ejecución parcial, son:

- **Quantum Spain:** 60 millones de euros (2022-2026). Lanzada en 2022, coordinada por el Barcelona Supercomputing Center (BSC) y canalizada a través de la Red Española de Supercomputación (RES), esta iniciativa busca desarrollar un ecosistema nacional de computación cuántica en España. La primera fase incluye el diseño y construcción del primer ordenador cuántico del sur de Europa, que servirá a la comunidad científica, a empresas y a instituciones para resolver problemas complejos mediante algoritmos cuánticos, en áreas como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. Involucra a 25 centros de investigación distribuidos en 14 Comunidades Autónomas y se organiza como un proyecto descentralizado que permite un acceso amplio al *hardware* y a las aplicaciones desarrolladas. La UTE QILIMANJARO-GMV ha sido en 2023 la adjudicataria para construir en esta primera fase un *chip* cuántico de cinco cúbits.
- **Plan Complementario de Comunicación Cuántica:** mediante acuerdo del Ministerio de Ciencia con seis Comunidades Autónomas y el CSIC: 73,5 millones de euros (2022-2024). Impulsado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, este Plan involucra una red de actores principales, incluyendo el CSIC y las Comunidades Autónomas del País Vasco, Cataluña, Galicia, Madrid y Castilla y León. El programa busca fortalecer la ciberseguridad y el desarrollo de tecnologías cuánticas en España mediante las alianzas con las Comunidades Autónomas. Entre los objetivos se destacan el avance de la infraestructura de comunicaciones cuánticas y la creación de una red nacional que respalde la iniciativa paneuropea EuroQCI, para comunicaciones seguras a nivel continental.
- **PERTE Aeroespacial:** 125 millones de euros (2024-2026). Gestionado por el CDTI, incluye dos proyectos clave dentro de su componente de Compra Pública de Innovación enfocados en la Distribución Cuántica de Claves en el ámbito aeroespacial: QKD Geo y QKD Leo, utilizando satélites en órbitas geoestacionaria (Geo) y de baja órbita terrestre (Leo), respectivamente. THALES ALENIA SPACE ESPAÑA lidera el desarrollo de la misión QKD Geo, mientras que

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

SENER AEROESPACIAL es responsable del proyecto QKD Leo. El objetivo central es establecer la infraestructura para una red de comunicaciones cuánticas seguras, integrando tecnología de vanguardia que permita la transmisión de claves cuánticas a través de enlaces satelitales. Esta iniciativa responde a la necesidad de incrementar la seguridad en las comunicaciones de datos frente a las amenazas potenciales de la computación cuántica, que podrían poner en riesgo los métodos de cifrado actuales.

- **El Instituto Nacional de Ciberseguridad de España (INCIBE)** ha tenido abiertos varios procesos de Compra Pública de Innovación para el desarrollo de soluciones y servicios en materia de ciberseguridad, el fortalecimiento de las capacidades y el impulso del talento. Uno de los retos incluido en estas convocatorias ha sido el de “criptografía avanzada resistente a ataques cuánticos”, habiéndose adjudicado cinco proyectos.

Además, algunas de las convocatorias vinculadas al Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2024, y a las actividades del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), especialmente del PERTE Chip, han contado con iniciativas concretas en el ámbito de la cuántica en las tres disciplinas.

España anunció a principios de 2024 que iba a lanzar una Estrategia Nacional de Tecnologías Cuánticas, basada en cuatro pilares: investigación, infraestructuras, generación de talento y desarrollo del ecosistema empresarial cuántico.

A nivel regional, las iniciativas más relevantes son las del País Vasco y Galicia, con inversiones anunciadas de alrededor de 120 millones de euros (2022-2026) y 154 millones de euros (2021-2025), respectivamente, aunque también existen iniciativas en otras Comunidades Autónomas.

- En el País Vasco, la estrategia BasQ anunciada en 2023, liderada por el Departamento de Educación del Gobierno Vasco en coordinación con las Diputaciones Forales de Araba, Bizkaia y Gipuzkoa, busca situar al territorio como uno de los principales polos cuánticos del mundo mediante el desarrollo de un ecosistema de investigación, talento e innovación en el ámbito de las tecnologías cuánticas. El hito más emblemático es la instalación en Donostia-San Sebastián, en 2025, de una infraestructura singular, el IBM-Euskadi Quantum Computational Center.

Además, dentro de esta iniciativa las administraciones locales ya estaban contribuyendo con sus estrategias territoriales al despliegue y consolidación de un sector en estas tecnologías cuánticas, con mecanismos de colaboración público-privada y público-pública, así como instrumentos de financiación. La Diputación Foral de Bizkaia, a través de la sociedad LANTIK, ha estado desarrollando la estrategia cuántica más veterana del país, BIQAIN-Bizkaia

Quantum Advanced Industries, y ha constituido desde hace varios años un potente ecosistema local, formado, además de por el propio LANTIK, por grandes empresas como IBM, ACCENTURE, TELEFÓNICA, IBERDROLA y PETRONOR, agentes locales como IBERMÁTICA y SERIKAT, por agentes del conocimiento como la Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea y TECNALIA, y por *start-ups* como QUANTUM MADS, QCENTROID y QUANVÍA, así como el clúster GAIA. También, Gipuzkoa Quantum Hub busca convertir a Gipuzkoa como referente en tecnologías cuánticas y convertirla en un *hub* de innovación y desarrollo de empresas en tecnologías cuánticas. Las entidades públicas que lideran este proyecto son la Diputación Foral de Gipuzkoa junto con el DONOSTIA INTERNATIONAL PHYSICS CENTER. Por parte del sector privado, la empresa MULTIVERSE COMPUTING está involucrada también en la iniciativa.

- En Galicia, la Xunta presentó en 2022 su iniciativa “Polo de Tecnoloxías Cuánticas de Galicia” para impulsar la innovación en computación y comunicaciones cuánticas en sectores económicos relevantes, una iniciativa apoyada por la UE a través del programa FEDER y colaboraciones público-privadas. Entre las infraestructuras, destacan las plataformas de computación que ha adquirido CESGA, el Centro de Supercomputación de Galicia y el desarrollo del “Vigo Quantum Communication Center, VQCC”, asociado a la Universidad de Vigo, para el impulso a la innovación en Comunicaciones y Ciberseguridad Cuánticas. Además, se espera que el polo genere sinergias con el Polo Aeroespacial de Galicia, aplicando estas tecnologías en el sector aeronáutico para la gestión de tráfico aéreo y la comunicación segura de vehículos aéreos no tripulados.
- La Comunidad de Madrid ha anunciado en 2024 el Clúster de Computación Cuántica como una iniciativa para situar a la región como un líder en el ámbito de la tecnología cuántica. Uno de sus objetivos es desarrollar algoritmos aplicados a sectores como el sanitario, medioambiental y social, contribuyendo a la innovación y mejorando la calidad de vida en la región. Se sumará a los otros cuatro ya existentes en Madrid, que abarcan áreas como la transformación digital, el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial y la *blockchain*.
- Cataluña busca consolidar la región como un referente internacional en tecnologías cuánticas, promoviendo el desarrollo de aplicaciones innovadoras en áreas como comunicación, ciberseguridad, computación y metrología. Liderada por el Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO), esta iniciativa incluye el *hub* QuantumCAT, que agrupa a instituciones de investigación y empresas para facilitar la transferencia tecnológica, o el “Barcelona Quantum Ring”, que implementará comunicaciones cuánticas seguras mediante fibra óptica, contribuyendo a la infraestructura paneuropea de comunicación cuántica. Son significativas las *start-ups* surgidas

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

de este ecosistema, que están adquiriendo relevancia internacional, como LuxQuanta, Qilimanjaro y Quside.

- La Junta de Extremadura, a través de COMPUTAEX, Computación y Tecnologías Avanzadas de Extremadura, está liderando varios proyectos orientados a establecer a Extremadura como un referente en computación cuántica. A finales de 2024, la Junta de Andalucía, a través de la Agencia Digital Andaluza, ha lanzado una licitación para impulsar un ecosistema de innovación en tecnologías exponenciales y acceso remoto a computadores cuánticos.
- AMETIC, la Asociación Multisectorial de Empresas de la Electrónica, las Tecnologías de la Información y la Comunicación, de las Telecomunicaciones y de los Contenidos Digitales, ha publicado dos versiones del informe “La España Cuántica”, en 2019 y 2022, que realiza un análisis del ecosistema ya existente en España y, en una separata, se aportan casos de uso de referencia.<sup>85</sup>

## 4.2. Análisis DAFO

España está haciendo avances significativos en el campo de las tecnologías cuánticas y cuenta con algunas fortalezas sobre las que poder explotar las oportunidades que se abren en estas disciplinas. Pero también hay que tener en cuenta las debilidades y amenazas, como se explica a continuación.

### 4.2.1. Fortalezas

- Iniciativas estratégicas en marcha. El gobierno, las Comunidades Autónomas y algunas entidades locales han lanzado un conjunto de iniciativas que están progresivamente consolidando y articulando diversos ecosistemas, especialmente en Computación y Comunicaciones, con proyectos singulares en marcha, con *start-ups* interesantes en ambos ámbitos. El aprovechamiento de sus sinergias, complementando recursos en torno a grandes iniciativas, posibilitaría una mayor eficiencia de los recursos destinados.
- Capacidades científicas. Existe una sólida y reconocida base investigadora en determinadas tecnologías, con posibles sinergias entre ellas.
- Apoyo institucional global. Existe un amplio consenso en el sistema nacional acerca de la necesidad de potenciar las tecnologías cuánticas, de manera alineada con la UE, como instrumento

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

<sup>85</sup> [https://ametic.es/wp-content/uploads/2022/11/ametic\\_-\\_informe\\_la\\_espana\\_cuantica\\_v06.pdf](https://ametic.es/wp-content/uploads/2022/11/ametic_-_informe_la_espana_cuantica_v06.pdf);  
[https://ametic.es/wp-content/uploads/2024/12/191224\\_informe-de-casos-de-uso-gttq3.pdf](https://ametic.es/wp-content/uploads/2024/12/191224_informe-de-casos-de-uso-gttq3.pdf)

fundamental para la competitividad, la autonomía y la soberanía futura en tecnologías críticas.

- Demanda empresarial local temprana. Hay algunos sectores y empresas tractoras en el lado de la demanda, en la parte final de las cadenas de valor, que están interesados en las tecnologías cuánticas y pilotando pruebas de concepto, sobre todo en el ámbito de la Computación y las Comunicaciones cuánticas. Es posible que para sensorica se active también pronto esta demanda para los sectores de defensa y salud.

#### 4.2.2. Oportunidades

- Posibilidad de generar grandes disrupciones con un nítido efecto. Las tecnologías cuánticas van a propiciar la aparición de aplicaciones disruptivas en el futuro, difícilmente imaginables en la actualidad, capaces de generar un enorme impacto económico, medioambiental y social. El desarrollo de la tecnología de base es un aspecto muy relevante, pero no el único: la forma cómo se aplique y utilice con ventaja también.
- Generación de masas críticas mediante colaboraciones en la UE. La Unión está estableciendo mecanismos para fortalecer el desarrollo de estas disciplinas, apoyando iniciativas importantes como el Quantum Flagship, Chips JU, EuroQCI o EuroHPC. Existe una cultura de colaboración internacional generada a través de los distintos programas europeos. La propuesta de la elaboración de una *Quantum Act* anunciada a mediados de noviembre de 2024 por la vicepresidenta ejecutiva y comisaria europea para la Soberanía Tecnológica, Seguridad y Democracia podría servir para alinear y coordinar la investigación y los recursos.
- Amplitud del terreno de juego en la disciplina de sensorica. Mientras que con toda probabilidad se va a imponer un conjunto limitado de tecnologías en el *hardware* de Computación y Comunicaciones, la diversidad de aplicaciones en detección y metrología va a propiciar la coexistencia de múltiples tecnologías, generando un terreno de juego tremendamente amplio en el que competir y generar nuevas oportunidades. Las iniciativas en Sensorica ofrecen menos riesgo, tienen TRL más altos y sirven para crear capacidades que se puedan también trasladar a las otras disciplinas.
- Creación de *start-ups* y nuevo tejido industrial. El desarrollo de esta tecnología está generando oportunidades disruptivas que son difíciles de aprovechar por las empresas consolidadas, al menos en las primeras etapas de desarrollo. Eso abre oportunidades de creación de nueva actividad económica de alto valor añadido a través de nuevas empresas de base tecnológica o expansión de las existentes.

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

### 4.2.3. Debilidades

- Falta de financiación pública y, sobre todo, privada. En un contexto de reducido espacio fiscal<sup>86</sup> y escaso desarrollo del capital riesgo, no es sencillo encontrar financiación para hacer frente a fuertes inversiones, con elevado riesgo y largo plazo, para poder estar a la altura en la carrera internacional, en proyectos, en infraestructuras. No hay atajos: el liderazgo en la tecnología está firmemente asociado al nivel de inversión. Se deben identificar nuevas fórmulas de financiación de programas de investigación de largo plazo que permitan proyectos significativos. Hay que generar los mecanismos de atracción de financiación privada que surgen alrededor de estos proyectos.
- Falta de coordinación entre iniciativas públicas. Cada región o país desea convertirse en un centro líder en el desarrollo de tecnologías cuánticas, especialmente de computación o comunicación. Así se explican las diversas iniciativas que han ido surgiendo, que en España son tanto a escala nacional como autonómica en algunos casos, que cada vez son más. Es positivo que exista conciencia sobre la importancia de potenciar las tecnologías cuánticas, pero la falta de coordinación entre las distintas administraciones puede

**Es positivo que exista conciencia sobre la importancia de potenciar las tecnologías cuánticas, pero la falta de coordinación entre las distintas administraciones puede llevar a que muchos de estos esfuerzos sean fallidos, como en el caso de los semiconductores.**

llevar a que muchos de estos esfuerzos sean fallidos, como en el caso de los semiconductores. El desarrollo de un tejido económico competitivo alrededor de las tecnologías cuánticas es un reto macro que requiere el alineamiento y coordinación de políticas. Además, difícilmente una región o un país van a alcanzar relevancia sin estar abrigados por un contexto supranacional (europeo) sólido, porque los contendientes son EEUU y China. Existen el *Quantum Flagship* y determinados proyectos tractores (EuroQCI, FPA en

*Quantum Flagship...*), pero es necesario un mayor esfuerzo integrador.

- Necesidad de articulación de las cadenas de valor. Hace falta articular las cadenas de valor para fortalecer y acelerar la conversión de conocimiento en productos y servicios que puedan difundirse en el mercado de forma industrial y escalable. Existe todavía una notable distancia entre la academia y la industria, motivada por diversos factores, culturales y estructurales, que hacen que

Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE

Elcano Policy Paper

<sup>86</sup> Arnal, J. (2024), "Más allá de la ratio de deuda pública sobre el PIB: Un análisis comparado en la zona euro", *ARI*, Real Instituto Elcano, 24/VI/2024.



la transferencia y aprovechamiento de conocimiento desde la academia a la industria no sea efectivo. Se precisa además construir los peldaños intermedios, algo de lo que carecen los sectores españoles de alta tecnología, bien mediante la movilidad de agentes que ocupan otras posiciones o por la creación de nuevo tejido. El caso de la sensórica cuántica resulta aún más débil que el de las otras dos disciplinas, porque no cuenta con iniciativas relevantes o proyectos tractores significativos al haberse priorizado en estas primeras etapas las de Computación y Comunicaciones en las iniciativas nacionales. Para construir esta articulación se requiere además un periodo de tiempo sostenido.

#### 4.2.4. Amenazas

- Posibilidad de un “invierno cuántico”. Como en otras tecnologías emergentes, estas tecnologías se pueden enfrentar a expectativas insatisfechas, dificultades técnicas o falta de avances suficientes que produzcan un periodo de estancamiento –de forma similar a lo que ocurrió con la IA–. Esto podría producir una disminución de la inversión, del interés y de la actividad en el sector, con avances más lentos. Esta amenaza tiene mayor probabilidad en la disciplina de Computación y Simulación Cuántica.
- Fuerte competencia tecnológica. La competencia global en estas disciplinas cuánticas está siendo intensa para obtener ventajas estratégicas y económicas. Las grandes potencias como EEUU, China y los países punteros de la UE están invirtiendo muy significativamente, órdenes de magnitud respecto a España, abriendo brecha en determinadas tecnologías, como en el *hardware* para computación cuántica, y posicionándose con cierta ventaja. Además, ciertos componentes y materiales críticos para el *hardware* cuántico tienen disponibilidad comercial limitada y pocas alternativas. Es posible que algunas tecnologías cuánticas empiecen a estar en pocos años fuera del alcance de la capacidad nacional –e, incluso, europea–. Con otra perspectiva, estas tecnologías compiten en fondos, talento y recursos con otras tecnologías nuevas y próximas, como son la IA, la ciberseguridad, las comunicaciones de nueva generación o los sistemas avanzados de detección.
- Descapitalización de talento. Esa carrera global requiere de unas personas con capacidades avanzadas y multidisciplinares, por lo que la competencia por el talento es feroz. Resulta difícil para el ecosistema español de cuántica disponer de buenos mecanismos para hacer frente a las mejores condiciones laborales de otros ecosistemas –por salarios, por proyección profesional, por medios de trabajo– en un mundo globalizado e hiperconectado. La ausencia de suficiente talento puede lastrar el desarrollo y el crecimiento de las nuevas actividades en cuántica. Se trata de conseguir salarios atractivos, pero también proyectos que aporten incentivos a las personas especializadas para que vuelvan a suelo europeo

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

y español. *Quantum Flagship* publicó un informe<sup>87</sup> sobre el marco de competencias para el perfil de empleado en tecnologías cuánticas. Otras propuestas podrían incluir la creación de microcréditos en las universidades para que los estudiantes puedan especializarse en ámbitos muy específicos, como sería la sensórica cuántica. Esta micro especialización permitiría al estudiantado tener mayor capacidad de elección de los microcréditos a elegir, así como profundizar en temas emergentes cuyo tratamiento requiere una mayor agilidad que los tiempos habituales del proceso de acreditación de nuevas asignaturas por la ANECA.

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

# 5. Claves para maximizar la oportunidad cuántica

La nueva revolución cuántica representa una oportunidad, quizá la única, para el desafío que está enfrentando la UE de desarrollar las nuevas capacidades digitales en un contexto emergente en el que todavía no se ha configurado el mapa de campeones en ninguna de las tres áreas claves –Computación e IA, redes de banda ancha y semiconductores–. Aunque la difusión de estas tecnologías de forma masiva en la sociedad requerirá de una o dos décadas, el impacto será con toda seguridad impresionante, posiblemente más grande aún que el que ha tenido la primera generación de tecnologías digitales en el último siglo. Esta razón, aun siendo comprensible, es incompleta: existe además el factor de soberanía y autonomía, algo necesario para reducir la dependencia de terceros para Europa en estas tecnologías críticas. Por ello, resulta urgente y prioritario involucrarse en el desarrollo de capacidades nativas europeas.

La visión para España en cuántica debe ser diferente a las de otras disciplinas próximas más maduras, como la IA, la ciberseguridad o las comunicaciones avanzadas. Su carácter emergente indica que no tiene sentido ahora priorizar medidas orientadas a acelerar, facilitar y promover su amplia difusión en el mercado. Con un retorno todavía lejano, esto podría tener efectos adversos. En esta etapa, la visión debe orientarse a crear las capacidades y las condiciones para que el país cuente en el medio plazo con una industria nacional de muy alto valor añadido de productos cuánticos. Tiene que prepararse para digitalizar la industria con estas nuevas capacidades y la mejor forma de hacerlo es industrializando la digitalización.<sup>88</sup> Debe cultivar proyectos singulares y atraer la necesaria financiación privada para desarrollar ese tejido industrial.

El reto para España, con algunos factores diferenciales, es aún mayor que para el conjunto europeo. La menor inversión privada, la menor inversión sostenida en I+D e innovación, la estructura empresarial menos industrial y con un gran peso de pymes, la dificultad para competir por el talento, o la falta, salvo excepciones, de potentes infraestructuras de investigación y de innovación –tanto físicas, como las infraestructuras científico-tecnológicas, como instrumentales, como los Centros Tecnológicos–, dificultan aún más aprovechar esta nueva revolución como motor de la

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

innovación, la competitividad y la transformación económica del país en el entorno global actual.

Por ello, las apuestas tienen que ser pocas y contundentes. Tienen que centrarse en determinadas tecnologías de aplicación transversal, en ámbitos de oportunidad donde habrá menos competencia mundial de los grandes actores. Aunque esto pueda parecer que es renunciar a una parte muy relevante de la “tarta cuántica”, es la mejor fórmula para asegurar un trozo de ella, significativo, además, que sirva para desarrollar esa industria especializada de alto valor añadido.

**España podría generar capacidades para *chips* cuánticos inicialmente para dispositivos avanzados de detección, aprovechando instrumentos de la CHIPS JU, la base de conocimiento existente y la demanda de determinados mercados, como defensa y biotecnología.**

España podría generar capacidades para *chips* cuánticos inicialmente para dispositivos avanzados de detección, aprovechando instrumentos de la CHIPS JU, la base de conocimiento existente y la demanda de determinados mercados, como defensa y biotecnología. Además, los *chips* cuánticos han aparecido como prioritarios en la carta de misión de la presidenta de la Comisión Europea, a la vicepresidenta ejecutiva y comisaria para Soberanía Tecnológica. En mayo

de 2022, se realizó un informe técnico bajo el marco del PERTE Chip en el ámbito español. El siguiente paso debería ser la creación de un inventario de actores especializados en *chips* cuánticos.

Con las fortalezas, recursos y condiciones existentes, podría maximizar las opciones de éxito contemplando de forma decidida las siguientes propuestas.

### 5.1. Industrializar la digitalización

Es preciso invertir en infraestructuras científicas y tecnológicas singulares específicas en cuántica. Es una medida alineada a las estrategias de Quantum Spain, BasQ o Galicia con la incorporación de plataformas de computación cuántica en el territorio. Es preciso hacerlo en ámbitos más próximos al producto tangible, en comunicaciones cuánticas y, especialmente, en sensorica cuántica, por ser la disciplina más cercana en el mercado y la de menor riesgo. Es fundamental que España se dote de un laboratorio singular especializado en *chips* cuánticos aprovechando instrumentos de la CHIPS JU y, a escala nacional, del PERTE Chip. El propósito debe ser no sólo servir a la academia para la generación de conocimiento, también a la futura industria, por lo que tiene que incorporar una gestión con claro un foco industrial. Este tipo de infraestructuras impulsan la investigación y el desarrollo, retienen talento

local y atraen el internacional, crean masas críticas y sirven como caldo de cultivo para la creación de nuevas empresas alrededor de nuevos proyectos. La clave es, no obstante, que atraen la inversión privada que se ancla a las infraestructuras y que sirven progresivamente como base para proyectos estratégicos de gran envergadura.

Para ello, es importante promover una política, no sólo de digitalización de la industria, sino de industrialización de la digitalización.<sup>89</sup> Es decir, crear una política industrial de la tecnología. En esta propuesta, las tecnologías cuánticas pueden aportar valor tanto a la competitividad de industrias tangibles como intangibles.

La propuesta de un Anteproyecto de Ley de Industria y Autonomía Estratégica requeriría integrar las necesidades industriales para el desarrollo de cuántica y una hoja de ruta de compartimentalización de cómo contribuye a sectores industriales estratégicos, desde el ámbito de la salud, la energía al agroalimentario. El Anteproyecto de la Ley de Industria y Autonomía Estratégica tiene varios objetivos, entre ellos la promoción industrial y la mejora de su competitividad y resiliencia, así como favorecer un mejor aprovechamiento del potencial industrial de la tecnología e innovación y la transición verde y digital, e igualmente la promoción de un entorno favorable a la cooperación entre empresas, la generación de ecosistemas industriales y el acicate de proyectos tractores y de interés general. Asimismo, el impulso de las tecnologías cuánticas se alinea también con el objetivo de fomentar un entorno favorable a la iniciativa y al desarrollo de las empresas en el territorio español, que permita acelerar la adaptación de la industria a los cambios estructurales necesarios, así como su resiliencia, y en particular de las pequeñas y medianas empresas.

## 5.2. Acelerar y asegurar el soporte sostenido a medio plazo de las iniciativas para generar y compactar las cadenas de valor desde la ciencia hasta la sociedad

Es preciso dotar de estabilidad y continuidad al apoyo de iniciativas en estas disciplinas. En primer lugar, porque la transición desde los TRL actuales a los TRL de mercado será larga. En segundo lugar, porque en esta transición se requiere de personas que se especialicen, se desarrollen y se consoliden, sin incertidumbres ni interrupciones en este viaje o buscarán alternativas fuera. En tercer lugar, porque España tiene una buena base en el plano académico y universitario, y cuenta con grandes mercados internos, potencialmente demandantes tempranos de soluciones cuánticas en las tres disciplinas; sin embargo, hay que construir determinados agentes intermedios de la cadena de valor que no existen o son pequeños y que serán claves para trasladar

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

<sup>89</sup> Ibidem.

la tecnología al mercado de forma eficiente y escalable, reduciendo así la dependencia externa.

Europa ha ido desarrollando instrumentos en este sentido, como las *Framework Partnership Agreements* (FPA). En este campo, España tiene que desarrollar y aplicar herramientas similares. Asimismo, desde la Comisión Europea también se ha planteado la Plataforma Europea de Tecnologías Estratégicas (STEP),<sup>90</sup> que busca apoyar a la industria europea e impulsar la inversión en tecnologías críticas en Europa. La STEP recauda y dirige fondos de 11 programas de la UE a tres ámbitos de inversión: tecnologías digitales e innovación tecnológica, tecnologías limpias y eficientes en el uso de los recursos, y biotecnologías. La STEP también apoya proyectos que desarrollen las capacidades necesarias para desarrollar esas tecnologías críticas e introduce un nuevo Sello STEP: una etiqueta de la UE para proyectos de alta calidad que otorga visibilidad a los proyectos STEP y facilita su acceso a otras posibles fuentes de financiación. En este marco, las tecnologías cuánticas se consideran parte de la STEP por los dos criterios de esta plataforma: desarrollar un alto grado de innovación disruptivo, así como reducir las dependencias estratégicas de terceros países.

### 5.3. Acelerar el papel de la administración como demanda vía CPI y, especialmente, salud y defensa

La administración pública ha ido incrementando su papel como demandante de innovación a través de la Compra Pública Innovadora o Precomercial (CPI/PPP). Este es un instrumento estratégico para estas disciplinas emergentes que no sólo contribuye a la modernización del sector público, sino también a fortalecer las cadenas de valor de la oferta en el sector privado.

Aun cuando el grado de madurez es todavía bajo en muchas de estas disciplinas cuánticas, la sensórica presenta ya las cualidades para que, con una inversión equilibrada y estratégica, sea significativa en sectores claves, como salud y defensa. En el campo de la salud, contribuirá a la detección y diagnóstico mucho más precisos, rápidos y menos invasivos mejorando la eficiencia y la efectividad de los cuidados de salud. En defensa, tiene el potencial de transformar las capacidades de detección, monitoreo y navegación en entornos complejos, permitiendo una superioridad táctica vital que es esencial para garantizar la seguridad frente a amenazas externas, ya sean naturales, militares, cibernéticas o terroristas. En un contexto de expansión y transformación, debido a factores como el conflicto en Ucrania y la creciente importancia de una defensa autónoma de la UE, defensa puede ser un importante motor en las primeras etapas del desarrollo de la cuántica con una visión dual. Genera

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

capacidades, talento, tecnologías, productos y servicios que benefician al conjunto de los sectores económicos. De igual manera a como sucedió con internet o el GPS, la inversión en tecnologías cuánticas en el sector defensa debe servir para acelerar innovaciones en productos y servicios de uso general.

## 5.4. Incrementar la colaboración público-pública en un contexto local-estatal-europeo

España cuenta con instrumentos en diversos ministerios y agencias, diversas comunidades e, incluso, diversos agentes locales. En su conjunto, los recursos públicos aportados por estos instrumentos, aun siendo menores que los de los principales Estados miembros de la UE, son significativos. Cada ecosistema quiere tener su proyecto “estrella”. Pero la fragmentación arriesga la oportunidad cuántica, fraccionando los recursos públicos y diluyendo la inversión privada en proyectos e iniciativas sin potencial de impacto real en el contexto global. Es vital reforzar la cooperación entre entidades públicas a nivel local, estatal y europeo, especialmente en programas a largo plazo, de forma que se maximicen los recursos en pocas iniciativas, se complemente la financiación entre diferentes fuentes y se comparta el riesgo.

## 5.5. Verticalizar las acciones hacia mercados en crecimiento, alineados con el enfoque de retos

Relacionado parcialmente con lo anterior, la verticalización ayuda a la articulación de las cadenas de valor y fortalece el desarrollo de agentes claves. Se deben centrar los esfuerzos en las cadenas de valor que son fundamentales en la economía española, que están en expansión y que generen nítido impacto en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Esto asegura que las inversiones y desarrollos aceleren los ámbitos más rentables y de mayor retorno social.

También sirve para identificar los problemas sectoriales en los que la cuántica tiene ese potencial único, como el modelado de materiales avanzados, la simulación, la optimización combinatoria a gran escala, la criptografía y la detección de fenómenos en la nanoescala.

Un paso efectivo es la verticalización de ciertas áreas tecnológicas clave en sectores industriales y mercados en crecimiento. Además de la IA –cuyo uso ya sucede–, debería anticiparse la preparación de la cuántica para ser verticalizada en una serie de sectores prioritarios. Para ello, existen casos paradigmáticos de inspiración como el Plan Coordinado de 2018 –y revisado en 2021– que establece nueve sectores de alta prioridad

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

para integrar la IA, y del que hay tanto aprendizajes positivos como negativos en la aplicación de algunas de las medidas, así como la falta de incentivos o limitaciones administrativas y financieras para hacerlo en otros casos. Estas lecciones pueden permitir anticipar la integración de la cuántica en mercados en crecimiento.

### **La verticalización se alinea con la propuesta del Informe Draghi de integrar tecnologías como la IA o la cuántica en sectores industriales estratégicos.**

En ese sentido, la verticalización, que se alinea con la propuesta del Informe Draghi de integrar las tecnologías –como la IA, así como la cuántica– en sectores industriales estratégicos, es relevante. En el nuevo Plan Estratégico 2024-2027 del CDTI,

la agencia pública de financiación de la innovación y actúa como agente dinamizador del ecosistema innovador español, se pretende canalizar las líneas de financiación a un enfoque menos centrado en el desarrollo de tecnologías singulares, sino más bien orientarlo a financiar retos económicos y sociales identificados como relevantes en España. Al mismo tiempo, el objetivo de este enfoque de retos es involucrar a empresas y centros de investigación en un sentido orgánico y colaborativo, creando ecosistemas en distintas regiones de España.

## **5.6. Compactar la I+D en los agentes científico-tecnológicos: mayor coordinación, mayor cooperación, mayor concentración**

España cuenta con una notable comunidad científica en esta disciplina y en disciplinas conexas, como la física, fotónica o biología, repartida por todo el territorio. Es necesario promover una mayor coordinación y cooperación entre los agentes de investigación y desarrollo científico-tecnológico para generar las masas críticas que se requieren para competir en la generación de conocimiento de vanguardia en un contexto global. Los sistemas de indicadores, la limitada cooperación público-pública en el sistema de ciencia y tecnología, la fragmentación y falta de estabilidad de la financiación o la variedad de instrumentos dificultan alinear los esfuerzos en torno a objetivos y temáticas comunes. La concentración contribuye a acelerar el progreso científico y tecnológico en este campo y, al mismo tiempo, a mejorar la obtención de los recursos comunitarios.

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**



## 5.7. Sumarse al sello “Sovereignty Seal” para incrementar las ayudas

El “Sovereignty Seal” de la UE es un distintivo otorgado a proyectos estratégicos de alta calidad que apoyan los objetivos de la STEP. Tiene como propósito fomentar la soberanía tecnológica en Europa. Busca movilizar hasta 160.000 millones de euros en inversión a través de múltiples programas, incluyendo el *Horizon Europe*, el *European Defence Fund* y el *Innovation Fund*. El sello certifica que los proyectos cumplen criterios de excelencia y contribuyen al fortalecimiento de tecnologías críticas.

La iniciativa aplicada a los proyectos de cuántica proporcionaría un reconocimiento adicional y el acceso a mayores fondos, algo vital para una industria española más adversa al riesgo en una tecnología que todavía tiene un horizonte temporal largo hasta su adopción por el mercado final.

## 5.8. Apalancar con las iniciativas cuánticas las capacidades clásicas claves, como la IA, nube, ciberseguridad y la fotónica

Las tecnologías cuánticas están en una fase de desarrollo inicial y compite en recursos, talento e inversión con otras tecnologías más maduras, como la IA, la computación en la nube y la ciberseguridad, que están demostrando resultados tangibles y beneficios inmediatos en todos sectores.

Una forma de ayudar a la inversión en cuántica es que una proporción de ésta se destine a apalancar capacidades clásicas que, además, resultan necesarias para el éxito de la cuántica. Ninguna tecnología cuántica va a funcionar de manera separada con estas tecnologías clásicas. La inversión en Computación y Simulación Cuántica debe fortalecer las capacidades y la cadena de valor de la IA. La inversión en Comunicaciones y Ciberseguridad Cuántica debe contribuir a mejores capacidades y agentes en ciberseguridad. La inversión en Sensórica y Metrología Cuántica debe crear sinergias con otras tecnologías como semiconductores y fotónica.

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

## 5.9. Establecer una agenda coordinada ante la tendencia creciente de listas de tecnologías prohibidas o marcos de un mayor control de exportaciones de tecnologías críticas

La seguridad económica está recibiendo cada vez mayor atención por parte de los Estados. Una de las iniciativas más habituales es el aumento de restricciones o el control, total o parcial, sobre las exportaciones de tecnologías críticas. EEUU ha venido aumentando la cantidad, intensidad y alcance de estas restricciones en materia de semiconductores e IA, incluyendo cuántica para el desarrollo de las dos primeras, hacia China. La “regla de difusión de la IA” anunciada por el Departamento de Comercio de EEUU el 13 de enero de 2025, que establece un tratamiento diferenciado según el país para conceder o no autorizaciones a empresas estadounidenses para la exportación de sus servicios de IA ha despertado preocupación por el impacto diferencial dentro de la UE. Mientras que países como España, Francia y Alemania podrán seguir recibiendo estos productos sin restricciones, en otros Estados miembros de la UE, como Polonia y Portugal, los exportadores estadounidenses deberán someterse a una solicitud y evaluación por parte de las autoridades de EEUU. Con el cambio a la Administración Trump, se espera un mayor endurecimiento de las listas de tecnologías prohibidas para su exportación en terceros países.

Por otro lado, la UE también ha aplicado sus propias restricciones. Hasta 2020, en el programa *Horizon2020* no había un elemento que limitara la participación de terceros países y frenar su postulación. Actualmente, con China se han limitado las oportunidades de postulación a las *Innovation Actions* de la UE.

Por ello, es fundamental establecer una agenda coordinada entre los distintos Estados miembros de la UE.

## 5.10. Fortalecer las capacidades del ecosistema español de defensa en el ámbito de las tecnologías cuánticas

Además de su uso civil, las aplicaciones en defensa de las tecnologías cuánticas se han presentado como áreas de trabajo. España cuenta con cinco centros de pruebas en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), el Ejército del Aire y del Espacio, así como CEHIPAR, el centro de experiencias hidrodinámicas de El Pardo, adscrito al INTA del Ministerio de Defensa, para impulsar el desarrollo de tecnología dual a través de programas de retos focalizados (“*Challenge Programmes*”)

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

auspiciados por DIANA,<sup>91</sup> la Aceleradora de Innovación de Defensa para el Atlántico Norte, de la OTAN. España cuenta con cuatro de los más de 60 centros de pruebas en la Alianza Atlántica.

Uno de los cuatro centros, en concreto el centro de pruebas UPM-DQC,<sup>92</sup> se encarga de realizar investigaciones en comunicaciones cuánticas. Está centrado en el desarrollo de nuevos métodos de seguridad basados en tecnologías cuánticas para abordar los desafíos actuales en materia cibernética. El objetivo de esta instalación es investigar en la vanguardia de la ciberseguridad cuántica, de modo que desempeñe un papel crucial en la innovación y desarrollo de estas tecnologías. Para tal fin, está abierto a empresas e instituciones de investigación que deseen probar y desarrollar tecnologías de redes cuánticas. En el marco de DIANA y en colaboración con el Centro de Innovación Tecnológica (CAIT) de la UPM, se busca lanzar un programa de capacitación en tecnologías cuánticas e innovación, que incluye la creación de un ecosistema empresarial.

Sin embargo, es necesario fortalecer más las capacidades en tecnologías cuánticas del ecosistema español de defensa. La Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) de 2020,<sup>93</sup> que tiene como objetivo dirigir las actuaciones en I+D+i del Ministerio de Defensa, coincide con el de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación para el periodo 2021-2027, así como con los Planes Estatales de Investigación Científica y Técnica y de Innovación, que materializarán los objetivos de la Estrategia en actuaciones e inversiones concretas. La ETID 2020 apunta a la computación cuántica, comunicación e información cuántica, sensores y metrología cuántica, la combinación con la fotónica y la simulación cuántica como tecnologías emergentes con potencial aplicación futura a defensa. Sin embargo, el ámbito específico de actuación se limita al seguimiento de posibles avances y no tanto a una asignación de actividades, hoja de ruta o presupuesto asignado específicamente a este tema.

## 5.11. Comunicar a la sociedad de forma sencilla, práctica y efectiva

No son buenos tiempos para las apuestas que, como la cuántica, son necesarias, pero que tienen aún desafíos significativos por delante antes de que su difusión produzca beneficios tangibles en la vida diaria de las personas. La coyuntura política española, la visión tradicionalmente cortoplacista del retorno económico y político de las actuaciones, el centro de atención persistente en los medios y la competencia por los recursos para atender necesidades inmediatas en ámbitos como la

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

<sup>91</sup> <https://www.diana.nato.int/>

<sup>92</sup> [https://www.upm.es/UPM/SalaPrensa/Noticias?id=a9ef677ac6b09810Vgn\\_VCM10000009c7648a\\_\\_\\_\\_\\_&fmt=detail&prefmt=articulo](https://www.upm.es/UPM/SalaPrensa/Noticias?id=a9ef677ac6b09810Vgn_VCM10000009c7648a_____&fmt=detail&prefmt=articulo)

<sup>93</sup> <https://publicaciones.defensa.gob.es/estrategia-de-tecnologia-e-innovacion-para-la-defensa-etid-2020-libros-pdf.html>

educación, la salud, el empleo y la protección de medio ambiente, hacen muy posiblemente que la inversión en tecnología cuántica se perciba como un auténtico lujo.

Se requiere, mediante una comunicación clara, accesible y persistente, generar un interés social real en torno a estas inversiones, que refuerce el sentido de urgencia, que sea coherente con los valores sociales y medioambientales, y que contribuya a aumentar la aceptación pública no ya solamente de las inversiones en este campo del conocimiento, también en aquellos otros críticos que, aunque no tengan retorno hoy, proporcionarán beneficios para las próximas generaciones.

### 5.12. Implementar la iniciativa con visión estratégica

La aplicación efectiva y eficiente de las políticas públicas en esta materia precisa de altas dosis de valentía, versatilidad y creatividad. Valentía para liderar con determinación en un entorno de cambio acelerado, para focalizar y evitar el “café para todos”, para elegir las apuestas que diferencien a la industria española, para renunciar a otras, para asumir los riesgos, para superar la presión que otras necesidades van a requerir durante el mismo intervalo de tiempo. Versatilidad para adaptarse a un itinerario en gran medida en construcción e impredecible, para gestionar estas incertidumbres y adversidades, para reconducirlas sin interrupciones, para ajustar las acciones en plena marcha. Creatividad para encontrar formas ingeniosas de superar los múltiples obstáculos existentes en las prácticas y procesos del sistema, para diferenciarse de otros territorios, para incorporar nuevos elementos, para integrar políticas, para hacer más eficientes los recursos existentes.

La oportunidad cuántica para crear en España a medio plazo una industria de muy alta tecnología que pueda capitalizar esta nueva revolución digital es difícil y no exenta de riesgo, pero es una oportunidad a la que no se puede renunciar. Tiene que aprovecharla para reducir su dependencia de terceros países en el suministro de una tecnología que será crítica y para atenuar el efecto de las fluctuaciones del mercado, de las tensiones geopolíticas y de las posibles restricciones comerciales. Esto afectaría no sólo a la economía, sino también a la seguridad y a la autonomía en sectores sensibles, permitiendo al país mantenerse relevante en el escenario digital global y asegurar un desarrollo sostenible económico y social en el futuro.

**Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE**

**Elcano  
Policy Paper**

# Conclusiones

La revolución cuántica no es una opción, es un imperativo estratégico. España y la UE tienen ante sí una oportunidad única para situarse en la vanguardia de la innovación tecnológica, pero ello requiere determinación, inversión y visión de largo plazo. No se trata sólo de competir, sino de construir capacidades propias que garanticen nuestra soberanía tecnológica y nuestro liderazgo en un mundo cada vez más dependiente de la computación, la seguridad y la inteligencia cuántica.

España debe actuar con audacia y pragmatismo, evitando la dispersión de esfuerzos y centrando su apuesta en sectores con alto valor añadido y menor competencia internacional. La sensórica cuántica, los *chips* cuánticos y la ciberseguridad ofrecen oportunidades reales para consolidar un ecosistema industrial sólido. Pero para ello, es fundamental reforzar la colaboración público-privada, atraer inversión de capital riesgo y articular una estrategia coordinada con la UE.

El futuro de la cuántica se escribe hoy. Quienes tomen la iniciativa liderarán la economía del mañana; quienes duden, quedarán relegados a la dependencia tecnológica. España tiene el talento, el conocimiento y el potencial para ser un actor clave en esta transformación. Ahora es el momento de convertir la ambición en acción.

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

# Autores\*

**Íñigo Arizaga**, director de Next – tecnologías cuánticas, TECNALIA

**Ana Ayerbe**, directora de Cores, TECNALIA

**Guillermo Gil**, desarrollo de negocio de tecnologías cuánticas, TECNALIA

**Judith Arnal**, investigadora principal, Real Instituto Elcano

**Raquel Jorge Ricart**, investigadora asociada, Real Instituto Elcano

## Cita recomendada

Arizaga, I., J. Arnal, A. Ayerbe, G. Gil y R. Jorge Ricart (2025), “Tecnologías cuánticas: como apostar y acertar desde España y la UE”, *Elcano Policy Paper*, Real Instituto Elcano.

Tecnologías  
cuánticas:  
cómo apostar  
y acertar  
desde  
España  
y la UE

Elcano  
Policy Paper

\* Los autores agradecen a Enrique Sánchez Bautista, director de la oficina del EU Quantum Technologies Flagship en Bruselas, su valiosa ayuda en la elaboración de este documento.

# Real Instituto Elcano

## Inteligencia global en español

El Real Instituto Elcano es el *think tank* español líder en estudios internacionales y estratégicos, y un centro de pensamiento de referencia en Europa y en el mundo. Constituido en 2001 como fundación privada de interés general, nuestra misión es contribuir a la elaboración de respuestas innovadoras, rigurosas e independientes sobre los retos globales y su gobernanza, y sobre el papel de España en Europa y en el mundo, al servicio de los decisores públicos y privados, y de la sociedad en su conjunto.

La estructura organizativa del Real Instituto Elcano refleja los principales apoyos públicos y privados que hacen posible su labor y favorece el intercambio de ideas en un entorno plural e independiente. El más alto órgano de gobierno es su Patronato, bajo la presidencia de honor de S.M. el Rey Felipe VI. Dispone además de un Programa de Socios Corporativos.

[www.realinstitutoelcano.org](http://www.realinstitutoelcano.org)

# TECNALIA

## Creating growth: improving society

TECNALIA es el mayor centro de investigación aplicada y desarrollo tecnológico de España, un referente en Europa y miembro de *Basque Research and Technology Alliance*. Colabora con las empresas e instituciones para mejorar su competitividad, la calidad de vida de las personas y lograr un crecimiento sostenible, gracias a un equipo de más de 1.500 personas comprometidas con la construcción de un mundo mejor a través de la investigación tecnológica y la innovación.

Sus principales ámbitos de actuación son: fabricación inteligente, transformación digital, transición energética, movilidad sostenible, salud y alimentación, ecosistema urbano y economía circular.

Su misión es transformar la investigación tecnológica en prosperidad y su visión es anticiparse al futuro como el agente líder de transformación de las empresas y de la sociedad para su adaptación a los retos de un mundo que evoluciona cada vez más rápido.

[www.tecnalia.com](http://www.tecnalia.com)

Real Instituto Elcano  
Príncipe de Vergara, 51  
28006 Madrid (Spain)  
[www.realinstitutoelcano.org](http://www.realinstitutoelcano.org)

