Las tecnologías cuánticas suponen una gran oportunidad para la economía regional. Se requiere de un análisis tecnológico y empresarial para poder determinar el tipo de actuaciones, combinando estas en función de la inversión requerida, viabilidad de demostradores y plazos asociados.

El campo de las tecnologías de la información cuántica ha ganado un impulso importante en los últimos años debido a varias decisiones estratégicas y de financiación importantes en todo el mundo. En esta línea, la Comisión Europea aprobó y puso en marcha en 2017 el "buque insignia" (*flagship*) de la UE sobre tecnologías cuánticas (www.qt.eu) con un presupuesto asignado de mil millones de euros a aplicar en 10 años. Este programa define cuatro pilares sobre los que centrar el desarrollo de aplicaciones de las tecnologías cuánticas: comunicaciones, computación, simulación y sensores [1].

No obstante, conviene resaltar que las tecnologías cuánticas se encuentran en lo que podríamos llamar su segunda revolución. La primea ola innovadora tuvo lugar en la primera mitad del siglo XX. En efecto, desde la histórica Conferencia Solvay, celebrada en Bruselas en 1927, la teoría cuántica sentó sus bases y marco el camino para el entendimiento de las interacciones radiación-materia a pequeña escala.

La segunda revolución no se basa en entender fenómenos desde el paradigma cuántico y aplicarlo sino en hacer desarrollos de ingeniería basados en las propiedades cuánticas de dichos sistemas, tanto las relativas al manejo de la información como a su recepción (sensores) [2]. Esta aproximación se traduce en oportunidades concretas en tres grandes ámbitos. En primer lugar, en computación, permitiendo resolver problemas difíciles de abordar con ordenadores convencionales y abriendo nuevas posibilidades en el campo de la Inteligencia Artificial (p.e., facilitando la resolución de los problemas de optimización asociados a sistemas de Machine Learning [3]). En segundo lugar, en la ciber seguridad, donde se convierten en triviales los problemas matemáticos que soportan la generación de claves. Todo ello sin olvidar las posibilidades de securizar sistemas en un escenario "post-quantum" (mecanismos criptográficos que sean resistentes a ataques efectuados mediante computación cuántica) o la generación de claves cuánticas para sistemas de comunicaciones. En tercer y último lugar, en el desarrollo de sensores [4] en áreas como medicina (p.e., sensores biomagnéticos para mediciones en distintos órganos), geofísica (p.e., magnetómetros) y ciencia de materiales (p.e., sensores de temperatura, https://superted-project.eu/).

Por todo ello, esta segunda revolución ha desvelado un mercado potencial de enormes dimensiones. Ciertamente el mercado se ha calentado y las valoraciones de compañías que trabajan en la cuántica se han disparado. Por ejemplo, IONQ se valoró en su IPO (Initial Public Offering) del 1 de octubre de 2021 en 2.000 millones de dólares americanos. Arqit Limited en 1.000 millones de dólares americanos solo un mes antes, septiembre de 2021. Hablamos de compañías que cotizan en el selectivo tecnológico NASDAQ y que, hoy en día, se encuentran todavía en una fase de desarrollo y con una actividad comercial muy incipiente.

Son distintas las aproximaciones que se está desarrollando para abordar el mercado de estas tecnologías. Entre ellas destacan iniciativas de política regional que persiguen poner en valor todos los recursos que, en un determinado territorio y ventana temporal, se pueden movilizar para capturar esta oportunidad. En cualquier caso, conviene gestionar adecuadamente las expectativas y atender a ciertos puntos que dibujan el contexto.

En primer lugar, el único campo que tiene hoy un nivel de madurez tecnológica (TRL 9) como para generar productos comerciales es la criptografía cuántica que, como mencionamos, se englobaría dentro del campo más amplio de Comunicaciones Cuánticas. Por ejemplo, Id Quantique es una compañía suiza que sido pionera en el desarrollo de sistemas para la generación de claves cuánticas (Quantum Key Distribution, QKD), aprovechando el carácter inherentemente aleatorio de Teoría Cuántica. Existen otras empresas que ha seguido el mismo camino, como es el caso de Quside, *spin-off* del Instituto de Ciencias Fotónicas de Barcelona

(ICFO). Hay que destacar que la "cuántica" nos plantea en este campo un doble reto: permite romper algoritmos de encriptación con, supuestamente, mayor facilidad y, por otro lado, provee de los medios para la securización en un mundo *post-quantum*.

En segundo lugar, muchos de los enfoques de computación para la resolución de problemas, ya sean de optimización, clasificación o inteligencia artificial siguen enfoques "*Quantum-inspired*" [5]. En otras palabras, algoritmos que se basan en la teoría cuántica pero que se ejecutan en un ordenador convencional, pudiendo depurarse los resultados con un cálculo cien por cien cuántico usando un conjunto reducido de *qbits*.

Tercero, hay un campo de gran importancia que sigue un camino, podríamos decir, paralelo que es de lo sensores. Hablamos de desarrollar dispositivos de medición que exploten al máximo los efectos de los sistemas cuánticos. Por ejemplo, pequeñas variaciones en los niveles de energía de un átomo o el mecanismo de la superposición cuántica: una investigación aplicada que requiere tiempo y equipamientos.

Finalmente, el desarrollo de un ordenador cuántico es un proceso complejo siendo pocas las empresas que se aventuran en esta laboriosa tarea. No obstante, existe una oportunidad en el desarrollo de tecnologías habilitadoras, es decir, todo el conjunto de sistemas, dispositivos, procedimientos, etc., que giran en tono a la fabricación y prueba de *qbits*. Por ejemplo, la tecnología para manipular el diamante y generar los denominados "centros de nitrógeno vacante" [34].

Quantum Gipuzkoa Hub

Descrito el panorama tecnológico y el contexto, surge la pregunta sobre cómo desarrollar un ecosistema territorial para impulsar el desarrollo y uso de las tecnologías cuánticas. Vamos a centrarnos en un caso de ejemplo, que sería el Quantum Gipuzkoa Hub, un esfuerzo liderado por BIC Gipuzkoa, centro de innovación y emprendimiento radicado en San Sebastián (Gipuzkoa), que pretende fomentar la colaboración empresarial en este campo. Este proyecto se encuentra alineado con los esfuerzos de otras instituciones como la Diputación Foral de Gipuzkoa y el propio Gobierno Vasco.

Recientemente, el Gobierno Vasco firmó el plan complementario para Comunicaciones Cuánticas por el que recibirá 5,8 millones de euros de los fondos europeos de recuperación que completarán una inversión de 9 millones para el lanzamiento del "Basque Quantum Technologies Hub". Conviene destacar que el DIPC (Donostia International Physis Center) será el coordinador de la estrategia vasca en "cuánticas" que, como es lógico, opera en dos líneas: el ya mencionado desarrollo de tecnologías y la apuesta por la investigación de calidad en este campo, impulsada desde la Consejería de Educación bajo la Estrategia IKUR 2030.

La clave guipuzcoana estriba en su carácter práctico. La "cuántica" esta de moda y lo verdaderamente relevante es conseguir casos de uso con empresas en las cuáles se resuelvan problemas reales en un contexto de estrecha colaboración entre los generadores de conocimiento, las empresas y los emprendedores. En esta línea, BIC Gipuzkoa ya acoge a la Multiverse Computing, *start-up* que ha levantado 24 millones de euros de financiación y que está apostando firme por un modelo que simplifique el acceso a la computación cuántica con independencia de la plataforma utilizada. La relación entre Multiverse y los centros de investigación del territorio es también fluida, constituyendo un ejemplo a extender como parte de esta colaboración triple academia-emprendimiento-empresa.

En definitiva, se busca conseguir que Gipuzkoa sea un territorio en el que se desarrollen soluciones tecnológicas, sí, pero que también en el que se apliquen para resolver retos empresariales y de gestión pública. Este doble objetivo solo se puede cumplir si se da una respuesta adecuada a los retos que antes plantemos. Recordemos, si la computación gira en gran medida entorno al uso de modelos "quantum-

inspired”[5], se hace necesario completar dichas aproximaciones con cálculos empleando qbits, dando un elemento adicional de precisión. Si, por otro lado, los problemas de optimización pueden tener amplia aplicación en la industria, definamos bien los casos de uso para parametrizar los algoritmos que responden a la naturaleza de dichos problemas. Todo ello sin olvidar la necesidad de dotarse de infraestructuras para la generación de claves cuánticas, permitiendo el ensayo de modelo de securización para comunicaciones o el desarrollo de sensores que, en ese caso, puedan servir de demostradores de las capacidades del territorio.

La apuesta de Gipuzkoa es firme; cuenta con apoyo en todos los niveles de la administración del Estado (baste citar la reciente carta de la ministra Calviño al lehendakari Urkullu, el pasado 2 de abril) y el compromiso de un buen número de agentes locales. Sin embargo, requiere de una gestión adecuada de expectativas y la asunción de ciertos riesgos, así como de la aplicación en casos reales; es decir, de demostradores, que consigan hacer realidad el deseo de que Gipuzkoa de convertirse en un verdadero “territorio cuántico”.