
Computación cuántica en la universidad

Qué se puede hacer con el equipo y cómo apropiarse de su uso para lograr un producto de innovación

AUTOR	Gerardo Esquivia Zapata
FECHA	2026-10-19
CONSULTA	¿Qué puede hacer una universidad que ya tiene una computadora cuántica para convertir esa capacidad en un producto de innovación?
FUENTES	53 · 44 con DOI verificable

GERARDOESQUIVIA.COM

Gerardo Esquivia Zapata

<https://gerardoesquivia.com>

gerardoesquivia@gmail.com

WhatsApp +57 316 063 4170

Informe elaborado con apoyo de un sistema agéntico. La búsqueda, la verificación de fuentes y la composición se asistieron por agentes de software; el criterio, la revisión y la responsabilidad del contenido son del autor. Las fuentes se citan con su identificador DOI cuando existe.

Resumen

Informe para el rectorado de una universidad que tiene o recibe una computadora cuántica. Abre con el marco teórico de la apropiación -la máquina y su diferencia, por qué recibir el equipo no es apropiárselo, la rejilla de cinco etapas, la madurez medida y la matriz de decisión- y sigue con los casos reales de lo que se ha logrado con estos equipos, lo que han hecho las universidades y centros que ya los tienen, la capacidad de transferencia, lo publicado en 2025 y 2026, y los primeros pasos que le tocan a la universidad.

La máquina y su diferencia: lo mínimo para decidir

Frente a la posesión física del procesador, la decisión rectoral de asignación de proyectos depende de distinguir qué cómputo transforma este equipo. Un bit clásico opera como un interruptor binario cerrado que procesa datos de forma secuencial; un qubit, en contraste, procesa estados simultáneos mediante superposición y correlación cuántica. Esta diferencia no significa que la computadora cuántica sea un servidor más rápido para tareas universitarias generales, análisis estadístico habitual o procesamiento administrativo de datos. Asignar horas de esta máquina a problemas lineales o de analítica convencional destruye valor institucional. El qubit solo ofrece ventaja en arquitecturas de cálculo cuya complejidad crece exponencialmente, específicamente la optimización combinatoria multivariable, la simulación fisicoquímica de materiales y el diseño de esquemas criptográficos resistentes (Purohit et al., 2023, p. 2). Por tanto, el criterio para autorizar el uso del equipo consiste en descartar cualquier investigación que la computación clásica resuelva eficientemente y concentrar las horas de procesador exclusivamente en problemas insolubles por vía binaria. La rectoría debe fijar una frontera clara: la máquina es un instrumento para transformar espacios de búsqueda masivos en soluciones estructuradas, no una plataforma genérica de desarrollo de software ni un repositorio de datos. Reconocer esta especialización algorítmica evita la dispersión de recursos financieros y delimita el portafolio de proyectos viables. No obstante, aislar los problemas computacionales pertinentes revela de inmediato el cuello de botella real de la institución. Tener el hardware en el campus no garantiza que la comunidad académica pueda interactuar con él ni extraer resultados válidos. ¿Qué capacidades técnicas, de infraestructura habilitadora y de gobernanza interna hacen falta para que tener la máquina signifique efectivamente poder usarla?

Apropiarse de una capacidad que no se inventó

Responder a estas exigencias demanda partir de un principio rectoral de gestión tecnológica: recibir un procesador cuántico no equivale a apropiárselo. En el análisis organizacional, la posesión material del equipo constituye únicamente una transferencia de activos físicos, mientras que la apropiación representa el proceso mediante el cual la universidad asimila una tecnología externa, modifica sus rutinas operativas y la convierte en una capacidad propia de resolución de problemas. Tratar la entrega física de la máquina como un hito de innovación consumado confunde la disponibilidad de una herramienta con la competencia institucional para extraerle valor. Cuando una organización incorpora una tecnología que no inventó, el rendimiento del hardware queda supeditado de manera estricta a su capacidad de absorción: la facultad colectiva de identificar el valor de un conocimiento externo altamente complejo, asimilarlo dentro de sus unidades académicas y explotarlo en aplicaciones prácticas transferibles. Sin una masa crítica previa de personal técnico capaz de formular problemas en álgebras de operadores, mitigar el ruido algorítmico y programar circuitos cuánticos, el equipo opera como un activo ocioso cuyo costo de mantenimiento destruye presupuesto

universitario. La investigación sobre adopción tecnológica demuestra que este rendimiento depende de factores estructurales agrupados en tres dimensiones: tecnológicas, organizacionales y de entorno. En la dimensión tecnológica, el principal cuello de botella radica en la brecha de compatibilidad; el procesador cuántico no reemplaza la infraestructura existente, sino que exige flujos híbridos donde los servidores clásicos preparan los datos, la máquina cuántica ejecuta la optimización y los sistemas binarios decodifican la solución. En la dimensión organizacional, los estudios identifican como barreras críticas la fragmentación en silos disciplinarios -que aísla a la física teórica de las ciencias de la computación y las ingenierías aplicadas- y la ausencia de esquemas de incentivos que motiven a los investigadores consolidados a abandonar algoritmos clásicos funcionales para asumir la curva de riesgo del cálculo cuántico. Por su parte, la dimensión del entorno establece que ninguna universidad puede apropiarse de esta tecnología de forma autárquica. La consolidación de un entorno de computación cuántica funcional requiere alianzas externas directas con la industria y el sector público para codiseñar casos de uso sobre problemas reales, impidiendo que el procesador quede confinado a ejercicios teóricos de laboratorio sin tracción económica (Purohit et al., 2023, p. 4). Superar estos bloqueos exige desplegar capacidades dinámicas rectorales organizadas en tres funciones operativas: detección, captura y transformación. La detección consiste en identificar con rigor metodológico cuáles demandas del entorno regional o nacional presentan complejidades computacionales que justifican el uso del procesador. La captura supone movilizar recursos financieros concurrentes, reasignar espacios de laboratorio y articular grupos de trabajo interdisciplinarios con metas claras de propiedad intelectual. La transformación requiere adaptar la gobernanza universitaria, flexibilizando los mecanismos de contratación técnica especializada y formalizando alianzas de coexploración externa. La apropiación efectiva de esta tecnología no ocurre como un evento súbito derivado de una resolución de rectoría, sino como un proceso acumulativo estructurado en etapas secuenciales de maduración técnica y organizativa. La investigación sobre capacidad de absorción da el vocabulario exacto para este problema. Lane, Koka y Pathak (2006) revisaron 289 trabajos de 14 revistas y encontraron que el concepto se había cosificado -usado como etiqueta de una capacidad dada por supuesta-, y propusieron devolverle su estructura de procesos, antecedentes y resultados. La distinción más útil para un rectorado es la de Jansen, Van den Bosch y Volberda (2005): la capacidad de absorción tiene dos componentes con antecedentes distintos -la potencial, que adquiere y asimila, y la realizada, que transforma y explota- y los mecanismos que alimentan una no alimentan la otra; por eso una unidad puede recibir el equipo y aun así no crear valor con él. Todorova y Durisin (2007) añadieron dos piezas que el modelo había perdido: reconocer el valor de lo que llega y los bucles de retroalimentación entre etapas. Trasladado a la máquina: tener el procesador y saber qué vale es capacidad potencial; convertirlo en producto es capacidad realizada; y entre las dos media una organización, no un contrato.

La rejilla: cinco etapas para apropiarse del equipo

Esta secuencia demanda una herramienta directiva concreta que determine las acciones institucionales, mida el avance y alerte sobre el estancamiento. La rejilla de apropiación descompone este proceso en cinco etapas progresivas diseñadas para orientar las decisiones del rectorado. La primera etapa consiste en reconocer la capacidad que se recibió y delimitar su alcance técnico real. La universidad debe auditar el hardware recibido frente a la física del procesador, separando rigurosamente las promesas de mercadeo tecnológico de los límites de coherencia y conectividad del equipo (Purohit et al., 2023, p. 3). La variable que decide si la institución avanza a la siguiente fase es la formalización de una matriz de restricciones operativas, caracterizada por la cuantificación exacta del número de cúbits funcionales, la fidelidad de las compuertas y la topología de interconexión. La señal

inequívoca de que la universidad se quedó atascada en esta etapa inicial es la persistencia de proyectos que formulan soluciones para desarrollo de software genérico o procesamiento masivo de datos, revelando que el cuerpo académico continúa confundiendo el procesador cuántico con un centro de cómputo clásico de alto rendimiento. La segunda etapa radica en formar el talento humano que sabe operar el procesador, desarrollando la capacidad de absorción técnica necesaria para traducir problemas a formulaciones cuánticas. Lejos de ofrecer seminarios de divulgación general, la universidad debe reestructurar asignaturas de posgrado y laboratorios para entrenar investigadores en compilación de circuitos, algoritmos de optimización binaria y técnicas de mitigación de ruido (Purohit et al., 2023, p. 5). La variable decisoria que autoriza el paso a la siguiente etapa es la existencia de una masa crítica certificada: un núcleo operativo interdisciplinario capaz de programar, depurar y ejecutar algoritmos directamente en el procesador sin intermediación técnica de los proveedores. La señal que evidencia el atasco institucional en esta etapa es la repetición cíclica de capacitaciones introductorias patrocinadas por el fabricante, sin que los grupos internos logren generar código ejecutable autónomo. La tercera etapa consiste en montar el acceso y el gobierno del recurso, configurando las reglas operativas para compartir el tiempo de cómputo y proteger la infraestructura. La administración central debe articular el procesador cuántico con servidores clásicos locales en una arquitectura híbrida de cálculo, estableciendo comités de asignación de cola y políticas de acceso multiusuario. La variable que decide el avance hacia la etapa siguiente es la tasa de utilización efectiva de la máquina, definida como la proporción de horas asignadas semanalmente a ejecuciones de circuitos válidos frente al tiempo de disponibilidad técnica. La señal de que la institución se encuentra atascada en este nivel es el secuestro administrativo del equipo por una sola facultad o su preservación como un monumento de exhibición institucional, reflejado en bitácoras de uso prácticamente vacías. La cuarta etapa exige encontrar el problema propio que la máquina puede resolver, aplicando la capacidad dinámica de detección para identificar demandas complejas en el aparato productivo o estatal regional. Conforme a las demandas de vinculación universitaria externa, el procesador debe emplearse en resolver cuellos de botella combinatorios concretos en áreas como la optimización logística, la simulación de redes de potencia o la química computacional (Purohit et al., 2023, p. 4). La variable que determina la superación de esta etapa es la suscripción de convenios de codesarrollo con contrapartes externas que incluyan la definición formal de un problema real modelado para la arquitectura de la máquina. La señal de atasco en esta fase es la limitación deliberada de los experimentos a problemas artificiales o ejercicios de juguete extraídos de tutoriales estándar, eludiendo la fricción con los desafíos reales de la industria. La quinta etapa reside en convertir ese resultado algorítmico en un producto de innovación tangible mediante la capacidad dinámica de captura y transformación. La institución debe empaquetar la solución desarrollada en forma de módulos de software híbrido, registros de propiedad intelectual, acuerdos de transferencia tecnológica o empresas de base tecnológica derivadas. La variable que decide el éxito de esta etapa final es la formalización de transacciones de transferencia o acuerdos de licenciamiento comercial con actores económicos del entorno. La señal concluyente de atasco en esta etapa es la reducción del resultado final a artículos científicos convencionales de bajo impacto aplicado, archivando el desarrollo en los anaqueles académicos sin producir tracción económica ni social. El tránsito a través de estas cinco etapas no se desenvuelve de forma automática ni todas las universidades recorren las cinco etapas al mismo ritmo, lo que introduce la madurez como criterio rectoral para diagnosticar la posición institucional y graduar las metas de inversión.

La madurez: cómo se mide si la universidad está lista

Diagnosticar con precisión esa madurez demanda asumir que la preparación institucional no se presume a partir de la mera posesión física del computador cuántico, sino que se mide mediante métricas estandarizadas de alistamiento tecnológico y organizacional. La escala convencional de niveles de madurez tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés), concebida originalmente para verificar el desarrollo secuencial de componentes de hardware aislados, resulta insuficiente cuando se aplica a tecnologías emergentes de alta incertidumbre y a sistemas complejos (Purohit et al., 2023, p. 2). En el ecosistema cuántico, el salto desde la validación de laboratorio hacia un entorno operativo no depende únicamente de la disponibilidad de la máquina física, sino de la integración de capas sociotécnicas, normativas y algorítmicas que habiliten su explotación real. Esta adaptación metodológica exige trascender las métricas lineales para incorporar indicadores de viabilidad en la integración de arquitecturas híbridas clásico-cuánticas, donde el cuello de botella crítico reside con frecuencia en la compatibilidad del software de control y en la mitigación de errores operativos. El error recurrente en la toma de decisiones rectorales radica en asumir que la preparación es un atributo homogéneo. La madurez institucional ante tecnologías disruptivas es intrínsecamente multidimensional y asimétrica: una universidad puede situarse en un nivel avanzado de preparación en su infraestructura o en el dominio conceptual de su profesorado y, simultáneamente, exhibir un nivel nulo en gobernanza operativa, vinculación industrial o capacidades dinámicas de transferencia. Por ejemplo, una facultad de ciencias puede registrar solvencia para simular compuertas lógicas o formular algoritmos teóricos, mientras la administración central carece por completo de protocolos de asignación de colas de cálculo, modelos de propiedad intelectual compartida o esquemas de contratación ágil con contrapartes externas. Medir la madurez exige, por tanto, descomponer el estado de la institución en dimensiones observables: preparación de infraestructura, capacidades técnicas de absorción, gobierno administrativo del recurso y capacidad de articulación con el entorno productivo. Los marcos de preparación cuántica (quantum readiness) demuestran que la apropiación no ocurre por simple acumulación de tiempo de máquina, sino mediante la sincronización deliberada de estos ejes de desarrollo institucional (Purohit et al., 2023, p. 3). Dicho diagnóstico no constituye una declaración de intenciones, sino una auditoría técnica que contrasta hitos verificables: tasa de disponibilidad efectiva, volumen de código compilado internamente y convenios de codesarrollo formalizados. La medición cuantitativa de cada dimensión impide que la universidad destine fondos a iniciativas de comercialización o patentes cuando la masa crítica interna aún depende del soporte técnico del fabricante, o que mantenga al equipo confinado en la docencia abstracta cuando ya existen condiciones para codiseñar soluciones con el sector productivo regional (Purohit et al., 2023, p. 5). La evaluación sistemática de la madurez tecnológica y organizacional actúa como un mecanismo rectoral de asignación eficiente que garantiza que cada desembolso financiero responda a la capacidad real de absorción de la entidad. De este modo, la rejilla de las etapas de apropiación y la evaluación multidimensional de la madurez configuran conjuntamente una herramienta de navegación directiva, indispensable para diagnosticar la posición exacta del recurso, focalizar las inversiones y trazar la ruta de ejecución institucional. Esa tensión entre lo académico y lo comercial no se resuelve eligiendo un lado. Ambos, Mäkelä, Birkinshaw y D'Este (2008) examinaron 207 proyectos financiados por consejos de investigación y encontraron que la tensión entre demandas académicas y comerciales es más intensa en el investigador individual que en la organización, y que buena parte de lo que la resuelve se juega en el investigador. Un indicador de madurez, entonces, no es cuántos proyectos comerciales acumula la universidad, sino si existen mecanismos que alivien ese conflicto en quien investiga.

La matriz de apropiación: la herramienta de decisión

La matriz de apropiación operacionaliza este cruce al contrastar sistemáticamente las etapas del ciclo de adopción con las dimensiones de madurez institucional, suministrando al rectorado un protocolo de decisión condicional que traduce cada diagnóstico en una acción de gobierno concreta. En la etapa inicial de puesta en marcha y verificación física, el rectorado interroga si la infraestructura de soporte y la gobernanza básica garantizan disponibilidad efectiva de cálculo; si la máquina experimenta caídas recurrentes o depende totalmente de la asistencia técnica del proveedor, la decisión rectoral debe congelar desembolsos destinados a alianzas externas y confinar el presupuesto al aseguramiento operativo del hardware y del software de control (Purohit et al., 2023, p. 3). Al transitar hacia la etapa de asimilación técnica interna, la pregunta directiva evalúa si el profesorado posee solvencia para compilar y ejecutar algoritmos propios de manera autónoma; si la capacidad de absorción resulta deficiente, la administración prohíbe destinar recursos a trámites de propiedad intelectual o difusión comercial, priorizando programas intensivos de capacitación y desarrollo de talento en computación híbrida clásico-cuántica. En la etapa intermedia de validación de casos de uso, la institución indaga si los modelos experimentados resuelven problemas reales con potencial de ventaja algorítmica; si la experimentación se estanca en la reproducción académica de ejemplos de libro de texto, la directriz universitaria reorienta las convocatorias internas hacia el modelado de desafíos pertinentes para el contexto productivo regional y nacional. Durante la etapa de codesarrollo externo, la pregunta rectoral examina si el gobierno universitario dispone de contratos ágiles y marcos de propiedad intelectual compartida con el sector productivo; si la articulación externa es nula o meramente declarativa, la decisión institucional suspende la constitución de vehículos de inversión hasta consolidar acuerdos de codesarrollo con contrapartes industriales verificables. Finalmente, en la etapa de transferencia tecnológica y escalamiento, la universidad evalúa si la solución ha logrado licenciamientos, contratos comerciales o creación de empresas de base tecnológica; si la producción se limita a publicaciones convencionales que archivan el hallazgo, el rectorado interviene para reestructurar los incentivos del profesorado y forzar la traslación de activos hacia el entorno socioeconómico. De este modo, la matriz desmitifica la tecnología instalada: la adquisición o recepción de una computadora cuántica no engendra por sí misma ningún producto de innovación. El computador físico representa únicamente un punto de partida material; la innovación surge de la apropiación deliberada, sostenida y rigurosa mediante la cual la universidad transforma ese recurso computacional en capacidad institucional instalada y valor productivo.

Los casos de uso: qué se ha logrado con los equipos

Para estructurar un plan de trabajo experimental que justifique la inversión y guíe el desarrollo de productos tecnológicos desde el campus, el punto de partida técnico consiste en examinar la literatura científica reciente donde procesadores físicos han resuelto problemas específicos. La investigación internacional demuestra que la computación cuántica opera a través de implementaciones tangibles distribuidas en tres dominios fundamentales: simulación de sistemas físicos y químicos, optimización combinatoria y logística, y despliegue de servicios en la nube con protocolos de control. En el ámbito de la simulación de materiales y química, los algoritmos variacionales ejecutados en hardware cuántico representan una ruta directa para nuestra capacidad instalada. Saib et al. (2021) analizaron el efecto del ruido en algoritmos variacionales para química cuántica, estableciendo tolerancias experimentales para modelar enlaces y reactividad en procesadores ruidosos. Para sistemas de materia condensada, Cavallar et al. (2025) efectuaron mediciones sensibles a la fase en un procesador

Fermi-Hubbard, mientras que Miao (2023) demostró en la revista Quantum la convergencia de redes MERA trotterizadas para sistemas fuertemente correlacionados. En termodinámica cuántica, Elyasi et al. (2025) lograron en Quantum Science and Technology la simulación experimental de extracción de trabajo demoníaco en baterías cuánticas abiertas usando computadoras de IBM Quantum. En la misma revista, Otfelie (2025) midió la estadística de trabajo de un sistema cuántico abierto sobre hardware cuántico superconductor. Por su parte, Dogra et al. (2021) publicaron en Communications Physics la simulación de ruptura de simetría paridad-tiempo con un procesador superconductor, y Nallamothula (2026) reportó en Advanced Quantum Technologies cómo aprovechar el ruido ambiental como recurso para asistir el transporte cuántico en procesadores superconductores de Rigetti. A esto se suman desarrollos en física fundamental, como la simulación digital de creación cosmológica de partículas sobre computadoras IBM Quantum documentada por Maceda (2024), y la simulación de sistemas cuánticos híbridos y entrelazamiento en Applied Physics Letters por Mazhandu et al. (2019). En optimización combinatoria y logística, los casos reales abarcan directamente problemas industriales de alta demanda computacional. Leib et al. (2023) resolvieron en Scientific Reports el problema de programación y calendarización de robots de transporte utilizando hardware híbrido y recocedores cuánticos de D-Wave, demostrando la aplicabilidad del recocido cuántico en la automatización de almacenes y plantas de manufactura. Del mismo modo, Amaro et al. (2021) aplicaron algoritmos cuánticos variacionales al problema de taller de trabajo (job shop scheduling) sobre hardware superconductor, validando la viabilidad de coordinar tareas fabriles complejas. Las fronteras operativas de estos problemas NP-duros fueron analizadas por Au-Yeung et al. (2022) en Frontiers in Quantum Science and Technology, evaluando bajo qué condiciones las computadoras cuánticas entregan ventajas frente a métodos heurísticos clásicos. Asimismo, Tucker et al. (2024) publicaron en New Journal of Physics algoritmos explícitos y simulaciones en computadora cuántica para el problema de encuentro coordinado sobre grafos (rendezvous), transferible a flotas autónomas y redes de telecomunicaciones. En analítica avanzada, Yung (2024) implementó en Advanced Quantum Technologies técnicas de agrupamiento mediante coresets de contorno y algoritmos VQE, mientras que Mura (2021) analizó ventajas algorítmicas en teoría de juegos en Progress of Theoretical and Experimental Physics. En criptoanálisis, Karamlou et al. (2021) evaluaron la factorización cuántica variacional en un procesador superconductor en npj Quantum Information, y Li et al. (2026) demostraron en IEEE Electronics Express la ejecución del algoritmo de Shor para factorizar $N=21$ en el procesador superconductor Tianyan-176 sintetizando compuertas de Fredkin. Respecto a la computación de servicios, control del procesador y calibración física, el despliegue en la nube de la plataforma Tianyan demostró la entrega de servicios con ventaja cuántica sobre circuitos superconductores (Consorcio Tianyan, 2025). En la capa de mitigación de ruido, Hall et al. (2024) implementaron en Physical Review Research la decodificación de síndromes de error mediante redes neuronales artificiales sobre procesadores IBM Quantum, optimizando la fidelidad de los circuitos en ejecución. Por su parte, Ozaeta (2019) analizó en Quantum Science and Technology la decoherencia de estados entrelazados de hasta ocho cúbits en un procesador superconductor de 16 cúbits de IBM, Gaikwad et al. (2020) demostraron la tomografía optimizada de procesos cuánticos en International Journal of Quantum Information, y Shukla et al. (2018) lograron la caracterización completa de compuertas lógicas directamente implementables en hardware cuántico de IBM. En el área de gobernanza institucional y ciberseguridad, Kumar (2021) realizó la prueba experimental de protocolos de veto anónimo en computadoras IBM Quantum, asegurando esquemas de votación colegiada inviolables. Finalmente, Gray (2021) documentó en Quantum la contracción hiperoptimizada de redes tensoriales vinculada al entorno de Google Quantum, complementando las bases históricas de control fijadas por DiCarlo et al. (2009) en procesadores superconductores y las técnicas de calibración mediante bootstrapping en 12 cúbits consolidadas por Lu et al. (2017). Este panorama empírico confirma que la universidad puede traducir de forma inmediata su nueva

infraestructura en productos de innovación, adoptando formulaciones ya probadas en problemas concretos de la industria y la ciencia aplicada.

Lo que han hecho las universidades y los centros con su equipo

Para materializar dicha traslación, la experiencia internacional demuestra que las instituciones que han instalado procesadores cuánticos físicos orientan su operación hacia modelos colaborativos público-privados y plataformas de servicios aplicados. Un referente directo para este rectorado es la estrategia desplegada por el consorcio BasQ en España, que en octubre de 2025 inauguró el primer IBM Quantum System Two de Europa en el IBM-Euskadi Quantum Computational Center en San Sebastián, articulado con Ikerbasque e Irekia para posicionar a su tejido industrial y académico a la vanguardia operativa (IBM Quantum Network , 2026-10-05 , en línea). Este modelo de centro de innovación se integra en un esquema global donde más de 300 miembros de red, 65 socios comerciales y empresas emergentes, 50 clientes industriales y más de 35 centros cuánticos desarrollan servicios empaquetados bajo esquemas como Qiskit Functions sobre plataformas en la nube (IBM Quantum Network , 2026-10-05 , en línea). Dicha dinámica no es aislada: Suiza gestiona la incorporación de su propio IBM Quantum System Two, mientras instituciones como Cleveland Clinic y RIKEN alcanzan hitos competitivos combinando supercómputo y cálculo cuántico para resolver problemas de gran escala bajo la expectativa de evidenciar ventajas cuánticas prácticas (IBM Quantum Network , 2026-10-05 , en línea), alineadas con hojas de ruta que proyectan procesadores con cientos de cúbits lógicos ejecutando millones de compuertas antes de finalizar la década (IBM Quantum , 2026-10-05 , en línea). En el ámbito de la colaboración sectorial estructurada, el National Quantum Computing Centre (NQCC) del Reino Unido ofrece un modelo replicable para vincular la máquina institucional con necesidades corporativas reales mediante pruebas de concepto financiadas. A través de este centro, empresas y grupos de investigación han ejecutado proyectos conjuntos como el desarrollado por Qoro Quantum Ltd y E.ON Digital Technology para resolver problemas de asignación de unidades (unit commitment) en la industria energética mediante descomposición híbrida clásico-fotónica (NQCC Reino Unido , 2026-10-05 , en línea). Asimismo, LTIMindtree UK Limited y Yorkshire Water Services Limited estructuraron soluciones conjuntas orientadas al sector de servicios públicos, Oxford Ionics lideró consorcios con la entidad bancaria HSBC para el procesamiento cuántico de datos financieros multidimensionales evolutivos en el tiempo, y Aioi R&D Lab evaluó mediciones de circuito intermedio en dinámica de fluidos computacional para aerodinámica (NQCC Reino Unido , 2026-10-05 , en línea). Estos casos ilustran cómo la disponibilidad física del hardware permite a una universidad ofertar capacidad de cómputo y codesarrollo a sectores de energía, finanzas, aguas y manufactura avanzada. De forma complementaria, centros como QuTech en los Países Bajos evidencian que poseer procesadores cuánticos habilita la creación de cadenas de valor completas y empresas de base tecnológica. QuTech ha estructurado flujos de trabajo híbridos que enlazan supercomputadoras clásicas como LUMI y SURF con computadoras cuánticas como LUMI-Q y la red Quantum Inspire, facilitando a usuarios externos e industriales un entorno de experimentación sobre arquitecturas abiertas (QuTech , 2026-10-05 , en línea). A partir de la investigación en sus laboratorios de hardware superconductor, este centro generó empresas derivadas como QuantWare, especializada en el suministro y escalamiento de procesadores cuánticos, y Orange Quantum Systems, fundada para diseñar y comercializar equipos de caracterización, prueba y evaluación comparativa (benchmarking) de chips cuánticos de decenas a cientos de cúbits (QuTech , 2026-10-05 , en línea). Este tránsito de la calibración física al producto comercial valida que el propio diagnóstico y control del equipo recién instalado constituye una línea inmediata de transferencia tecnológica y servicios especializados para terceros. Por último, la articulación de ecosistemas abiertos como el Chicago Quantum Exchange demuestra la capacidad de atraer inversión privada y dinamizar plataformas diversas,

integrando desarrollos de empresas como Atom Computing -que tras lanzar su máquina Phoenix de 100 cúbits captó 60 millones de dólares en ronda Serie B- y esquemas fotónicos tolerantes a fallos liderados por PsiQuantum (Chicago Quantum Exchange , 2026-10-05 , en línea). Esta tendencia hacia la apertura operativa de procesadores propios a comunidades científicas e industriales se consolida globalmente: mientras en Asia TOYO Corporation abrió sus computadores cuánticos al ecosistema de Japón bajo la premisa de que las capacidades tecnológicas estratégicas se construyen y no se alquilan, IQM concretó la entrega del primer computador cuántico en Sudamérica al Instituto de Investigación Eldorado en Brasil (IQM Finlandia , 2026-10-05 , en línea). Para esta universidad, la posesión directa del equipo físico abre la oportunidad inmediata de posicionarse como el nodo pionero de cómputo cuántico en Colombia y la región andina, estructurando programas de prueba de concepto con la industria nacional, comercializando horas de cálculo y calibración híbrida, y generando productos de propiedad intelectual transferibles.

La capacidad de transferencia: cómo la universidad convierte el equipo en producto

La materialización de este liderazgo regional exige que la presencia física del procesador cuántico en el campus esté respaldada por una arquitectura deliberada de transferencia tecnológica y gobernanza institucional. La sola posesión de la infraestructura física no garantiza impactos socioeconómicos si no se activa la tercera misión universitaria, entendida como el mandato institucional de movilizar el conocimiento científico y los activos tecnológicos avanzados hacia la resolución de problemáticas concretas del entorno productivo y social (Treidel y Boichenko, 2024). Lejos de concebirse como una actividad asistencial accesoria, la tercera misión redefine el rol de la universidad como nodo catalizador de innovación y competitividad económica mediante la vinculación directa de sus capacidades técnicas con empresas y entidades públicas (MAGARÒ, 2024). Para gobernar con éxito un activo de frontera como este computador cuántico, la institución debe articular mecanismos de ambidextría organizacional capaces de mitigar la tensión inherente entre la exploración científica a largo plazo y la explotación comercial a corto plazo (Prange y Schlegelmilch, 2009; Kassotaki, 2022). Sengupta y Ray (2017) señalan que la ambidextría en las universidades no surge de forma espontánea, sino que requiere capacidades dinámicas directivas para asignar recursos de manera diferenciada, protegiendo tanto la investigación básica de los grupos académicos como las actividades de licenciamiento, consultoría y prestación de servicios intensivos en conocimiento. No obstante, en tecnologías de ruptura, Thomas et al. (2023) demuestran que las universidades deben trascender los marcos clásicos de ambidextría interna para posicionarse como orquestadoras del desarrollo regional, adaptando proactivamente sus estructuras a las demandas de ecosistemas emergentes y asumiendo un papel activo en la creación de nuevos mercados. En este engranaje, la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) ejerce una función de intermediación crítica para traducir la potencia computacional instalada en activos comerciales tangibles. Como evidencian Bigliardi et al. (2015), el rendimiento de las oficinas de transferencia depende de factores determinantes como la profesionalización de su personal técnico, la flexibilidad de las normativas internas de propiedad intelectual, el diseño de incentivos directos para los científicos inventores y la madurez de las redes relacionales con el sector corporativo. Una OTRI que carezca de especialistas capaces de dimensionar el valor comercial de los algoritmos y de los servicios de simulación cuántica se convierte en un cuello de botella institucional. En el caso de esta universidad, la OTRI debe estructurar protocolos de propiedad intelectual orientados al software cuántico emergente (Murillo et al., 2025) y habilitar rutas expeditas para la incubación de empresas de base tecnológica o spin-offs universitarias (Minh y Vàn, 2022),

permitiendo que los investigadores moneticen metodologías de optimización, calibración de procesadores y protocolos de cifrado desarrollados sobre la máquina propia. Asimismo, la transición desde la capacidad física hacia un producto de innovación requiere la conformación deliberada de un entorno de preparación cuántica. Purohit et al. (2023) documentan que la viabilidad comercial de las infraestructuras cuánticas depende de articular ecosistemas colaborativos donde converjan la academia, el sector privado y el Estado, mitigando la escasez de talento especializado mediante iniciativas transversales de formación y bancos de prueba accesibles. Para el rectorado, gobernar esta capacidad implica vincular el laboratorio de hardware cuántico con una oferta concreta de valor para la industria colombiana: asignación de tiempos de cálculo para pilotos industriales, codesarrollo de soluciones algorítmicas bajo contratos de investigación y desarrollo por encargo, y programas de validación de propiedad intelectual. Mediante este esquema de gestión estratégica de la tercera misión, la universidad transformará un equipo de alta tecnología recién entregado en un portafolio autosostenible de servicios especializados, patentes transferibles y nuevos modelos de negocio tecnológico en el país. La literatura sobre la tercera misión ordena ese trabajo. Compagnucci y Spigarelli (2020), en una revisión sistemática, muestran que la tercera misión -la contribución a la sociedad- es un fenómeno multidisciplinar y en evolución, con funciones heterogéneas, restricciones y choques con la enseñanza y la investigación. Trencher et al. (2013) van más allá: documentan una función emergente de co-creación con gobierno, industria y sociedad civil, distinta del foco económico de la tercera misión y de las prácticas convencionales de transferencia, y la describen por cinco canales. Weckowska (2015), con seis oficinas de transferencia británicas, muestra que esas oficinas aprenden de dos maneras -una centrada en la transacción y otra en la relación- y que ambas coexisten y coevolucionan solo en algunas: en las demás, la mirada relacional no llega a desarrollarse. Para una universidad que estrena máquina, la lección es que la oficina de transferencia también es un objeto de diseño.

Qué le toca hacer a la universidad: los primeros pasos

Para materializar esta transición operativa, la universidad debe ejecutar una hoja de ruta estructurada en dos fases semestrales que traduzcan los principios de ambidextría en rutinas organizacionales directas. Durante los primeros seis meses, el esfuerzo institucional debe concentrarse en la etapa de exploración técnica y estabilización operativa del hardware recibido. La prioridad inmediata consiste en el levantamiento de una línea base de rendimiento mediante pruebas de caracterización del procesador cuántico: medición rigurosa de tiempos de coherencia, fidelidad de compuertas lógicas de uno y dos cúbits, y tasas de error de lectura. Paralelamente a esta calibración física, la institución debe habilitar un entorno de ejecución híbrido clásico-cuántico que integre el procesador con la infraestructura de computación de alto rendimiento preexistente en el campus. Esta arquitectura permite a los grupos de investigación ensayar algoritmos variacionales en simuladores locales antes de comprometer tiempo de ejecución real en la máquina, optimizando la programación de tareas y reduciendo costos operativos. En este mismo lapso inicial, la universidad debe articular un banco de pruebas interno que certifique a docentes y estudiantes de posgrado en el diseño de circuitos cuánticos aplicados a áreas estratégicas como la optimización de flujos de potencia en redes eléctricas y la modelación molecular de compuestos químicos. En los meses siete a doce, el enfoque estratégico debe virar de forma deliberada hacia la explotación de capacidades y la vinculación formal con el entorno productivo. Esta segunda etapa exige la conformación de una mesa de trabajo conjunta entre el laboratorio de hardware y la oficina de transferencia para publicar el primer portafolio institucional de servicios tecnológicos y capacidades de cálculo. El objetivo central de este semestre radica en la suscripción y ejecución de al menos dos pruebas de concepto con empresas del sector financiero, logístico o

energético interesadas en resolver cuellos de botella combinatorios que desbordan los límites del cómputo clásico. Mediante contratos de investigación y desarrollo con cláusulas estrictas de propiedad intelectual previa y derivada, la universidad debe codesarrollar prototipos de software que validen la utilidad cuántica preliminar en problemas reales de optimización de rutas de transporte, asignación de activos de inversión o detección de fallas en redes de distribución. De manera complementaria, el rectorado debe habilitar incentivos normativos y licencias de uso de tiempo de máquina para la incubación de iniciativas de base tecnológica, facultando a los científicos para fundar empresas derivadas orientadas al desarrollo de librerías de algoritmos, consultoría algorítmica de frontera y servicios de calibración para terceros. El despliegue de estas dos fases confirma que el éxito de la inversión no reside en la tenencia del procesador dentro del laboratorio, sino en la velocidad con que la institución construye las capacidades intermedias de formulación matemática, desarrollo de software y empaquetamiento comercial. La instalación física de la computadora cuántica no produce innovación por sí misma ni garantiza impactos en la competitividad regional; la máquina es únicamente un medio material inerte, mientras que la apropiación científica, la gobernanza directiva y la articulación con el sector productivo constituyen el verdadero trabajo que engendra el producto de innovación. Que ese activo sea necesario no es una intuición: la literatura de fuerza laboral cuántica lo midió. Fox, Zwickl y Lewandowski (2020) entrevistaron a 21 empresas de Estados Unidos en el otoño de 2019 para describir qué actividades hace la industria cuántica, qué empleos existen y qué habilidades valora, y concluyeron que acelerar la comercialización exige equipar a la fuerza laboral con esas habilidades. Kaur y Venegas-Gomez (2022) documentaron la escasez de talento y catalogaron las iniciativas educativas disponibles en el mundo -cursos en línea, congresos, seminarios, juegos y redes- como vías de aprendizaje entre academia e industria. Greinert et al. (2023) tradujeron esa necesidad a competencias concretas con tres rondas de encuesta y 188 respuestas de expertos de industria y academia en Europa, insumo del Marco Europeo de Competencias para Tecnologías Cuánticas. Aiello et al. (2021) advierten que los programas de educación en ciencia e ingeniería de la información cuántica son convergentes, costosos y dependen de múltiples actores, y reportan el estado de dieciocho programas de educación superior. Nita et al. (2021) señalan el obstáculo que suele quedar fuera de la conversación: la matemática compleja hace que el conocimiento cuántico sea inaccesible para muchos, y proponen la alfabetización cuántica como vía transdisciplinar. El rectorado no parte de cero: parte de un mapa. La formación, además, no se resuelve contratando a un experto: se resuelve publicando un activo docente reutilizable. Un caso comprobable es el curso abierto que Aleksandr Krasnok, de la Florida International University, publicó en agosto de 2026: catorce cuadernos de clase, cuatro tareas secuenciales y un manual de Python, dirigido a estudiantes de ingeniería con Python introductorio y álgebra lineal de pregrado y autorizado expresamente para descargarse y adaptarse «para enseñar en universidades, colegios, programas de formación y otras instituciones» (Krasnok, 2026). No es un apunte: declara diez resultados de aprendizaje verificables -el primero advierte que el tamaño del espacio de estados no demuestra por sí solo una ventaja práctica, y el último exige evaluar hojas de ruta y afirmaciones híbridas con evidencia fechada, incertidumbre, compuertas de verificación y líneas base sólidas-, ofrece cinco rutas de uso (semestre de catorce semanas, módulo de ocho semanas, autoestudio, preparación de examen y preparación para roles en software, controles o fotónica) y trae sus propias pruebas: los cuadernos se ejecutan y se validan contra las figuras antes de publicarse. Su licencia -CC BY 4.0 para los materiales y BSD 3 para el código- permite enseñar en otra institución y usar comercialmente con atribución, y prohíbe insinuar el respaldo de la universidad de origen. Para el rectorado, esto invierte el orden de los primeros pasos: el primer producto de la máquina no exige comprar talento, sino adoptar, traducir y adaptar un currículo ya probado y publicar el propio con la misma disciplina -resultados de aprendizaje declarados, tareas que certifiquen el avance y

Referencias

-
- [Arbitrada] Aiello et al. (2021). Achieving a quantum smart workforce. Quantum Science and Technology. <https://doi.org/10.1088/2058-9565/abfa64>
- [Arbitrada] Amaro et al. (2021). A case study of variational quantum algorithms for a job shop scheduling problem. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-022-00123-4>
- [Arbitrada] Ambos et al. (2008). When Does University Research Get Commercialized? Creating Ambidexterity in Research Institutions. Journal of Management Studies. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2008.00804.x>
- [Arbitrada] Au-Yeung et al. (2022). NP-hard but no longer hard to solve? Using quantum computing to tackle optimization problems. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.3389/frqst.2023.1128576>
- [Arbitrada] Bigliardi et al. (2015). Factors affecting technology transfer offices' performance in the Italian food context. Technology Analysis and Strategic Management. <https://doi.org/10.1080/09537325.2014.1002464>
- [Arbitrada] Cavallar et al. (2025). Phase-Sensitive Measurements on a Fermi-Hubbard Quantum Processor. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.22331/q-2026-05-12-2103>
- [En Línea] Chicago Quantum Exchange. (2025). Chicago Quantum Exchange. <https://chicagoquantum.org/>
- [Arbitrada] Compagnucci y Spigarelli. (2020). The Third Mission of the university: A systematic literature review on potentials and constraints. Technological Forecasting and Social Change. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120284>
- [En Línea] Consorcio Tianyan. (2025). Tianyan: Cloud services with quantum advantage. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2503.00001>
- [Arbitrada] DiCarlo et al. (2009). Demonstration of Two-Qubit Algorithms with a Superconducting Quantum Processor. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.1038/nature08121>
- [Arbitrada] Dogra et al. (2021). Quantum simulation of parity-time symmetry breaking with a superconducting quantum processor. Communications Physics. <https://doi.org/10.1038/s42005-021-00534-2>
- [Arbitrada] Elyasi et al. (2025). Experimental simulation of daemonic work extraction in open quantum batteries on a digital quantum computer. Quantum Science and Technology. <https://doi.org/10.1088/2058-9565/adae2d>
- [Arbitrada] Fox et al. (2020). Preparing for the quantum revolution: What is the role of higher education?. Physical Review Physics Education Research. <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.16.020131>
- [Arbitrada] Gaikwad et al. (2020). Experimental demonstration of optimized quantum process tomography on the IBM quantum experience. International Journal of Quantum Information. <https://doi.org/10.1142/s0219749920400043>
- [Arbitrada] Gray y Kourtis. (2021). Hyper-optimized tensor network contraction. Quantum. <https://doi.org/10.22331/q-2021-03-15-410>
- [Arbitrada] Greinert et al. (2023). Future quantum workforce: Competences, requirements, and forecasts. Physical Review Physics Education Research. <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.19.010137>

- [Arbitrada] Hall et al. (2024). Artificial neural network syndrome decoding on IBM quantum processors. *Physical Review Research*. <https://doi.org/10.1103/physrevresearch.6.l032004>
- [En Línea] IBM Quantum. (2025). IBM Quantum. <https://www.ibm.com/quantum>
- [En Línea] IBM Quantum Network. (2025). IBM Quantum Network. <https://www.ibm.com/quantum/network>
- [En Línea] IQM Finlandia. (2025). IQM Quantum Computers. <https://www.iqm.fi/>
- [Arbitrada] Jansen et al. (2005). Managing Potential and Realized Absorptive Capacity: How do Organizational Antecedents Matter?. *Academy of Management Journal*. <https://doi.org/10.5465/amj.2005.19573106>
- [Arbitrada] Karamlou et al. (2021). Analyzing the performance of variational quantum factoring on a superconducting quantum processor. *npj Quantum Information*. <https://doi.org/10.1038/s41534-021-00478-z>
- [Arbitrada] Kassotaki. (2022). Review of Organizational Ambidexterity Research. *SAGE Open*. <https://doi.org/10.1177/21582440221082127>
- [Arbitrada] Kaur y Venegas-Gomez. (2022). Defining the quantum workforce landscape: a review of global quantum education initiatives. *Optical Engineering*. <https://doi.org/10.1117/1.oe.61.8.081806>
- [En Línea] Krasnok, A. (2026). Quantum Computing Lectures: Foundations, Circuits, Algorithms, and Hardware (versión 2026.08) [curso abierto, cuadernos Jupyter]. Florida International University. <https://github.com/AlexKrasnok/quantum-computing-lectures>
- [Arbitrada] Kumar y Pathak. (2021). United Nation Security Council in Quantum World: Experimental Realization of Quantum Anonymous Veto Protocols using IBM Quantum Computer. *arXiv (preprint)*.
- [Arbitrada] Lane et al. (2006). The Reification of Absorptive Capacity: A Critical Review and Rejuvenation of the Construct. *Academy of Management Review*. <https://doi.org/10.5465/amr.2006.22527456>
- [Arbitrada] Leib et al. (2023). An optimization case study for solving a transport robot scheduling problem on quantum-hybrid and quantum-inspired hardware. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45668-1>
- [Arbitrada] Maceda y Sabín. (2024). Digital quantum simulation of cosmological particle creation with IBM quantum computers. *arXiv (preprint)*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87015-6>
- [Arbitrada] MAGARÒ. (2024). Universities and Third Mission: Considerations from an Italian Perspective. *Transylvanian Review of Administrative Sciences*. <https://doi.org/10.24193/tras.si2024.12>
- [Arbitrada] Mazhandu et al. (2019). Experimental simulation of hybrid quantum systems and entanglement on a quantum computer. *Applied Physics Letters*. <https://doi.org/10.1063/1.5126505>
- [Arbitrada] Miao y Barthel. (2023). Convergence and Quantum Advantage of Trotterized MERA for Strongly-Correlated Systems. *arXiv (preprint)*. <https://doi.org/10.22331/q-2025-02-11-1631>
- [Arbitrada] Minh y Vân. (2022). Spin-Off and Commercialization of University Researches. *Open Journal of Social Sciences*. <https://doi.org/10.4236/jss.2022.101021>
- [Arbitrada] Mura y Wada. (2021). Quantization of blackjack: Quantum basic strategy and advantage. *Progress of Theoretical and Experimental Physics*.

<https://doi.org/10.1093/ptep/ptab125>

[Arbitrada] Murillo et al. (2025). Quantum Software Engineering: Roadmap and Challenges Ahead. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*.
<https://doi.org/10.1145/3712002>

[Arbitrada] Nallamothula y Prybutok. (2026). Noise as a Resource: Experimental Demonstration of Environment-Assisted Quantum Transport on Quantum Hardware. *Advanced Quantum Technologies*.
<https://doi.org/10.1002/qute.70328>

[Arbitrada] Nita et al. (2021). The challenge and opportunities of quantum literacy for future education and transdisciplinary problem-solving. *Research in Science & Technological Education*. <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1920905>

[En Linea] NQCC Reino Unido. (2025). National Quantum Computing Centre.
<https://www.nqcc.ac.uk/>

[Arbitrada] Oftelie y Campisi. (2025). Measurement of the work statistics of an open quantum system using a quantum computer. *Quantum Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1088/2058-9565/adbd6c>

[Arbitrada] Ozaeta y McMahon. (2019). Decoherence of up to 8-qubit entangled states in a 16-qubit superconducting quantum processor. *Quantum Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1088/2058-9565/ab13e5>

[Arbitrada] Prange y Schlegelmilch. (2009). The Role of Ambidexterity in Marketing Strategy Implementation: Resolving the Exploration-Exploitation Dilemma. *BuR - Business Research*.
<https://doi.org/10.1007/bf03342712>

[Arbitrada] Purohit et al. (2023). Building a quantum-ready ecosystem. *IET Quantum Communication*. <https://doi.org/10.1049/qtc2.12072>

[En Linea] QuTech. (2025). QuTech - Delft University of Technology. <https://qutech.nl/>

[Arbitrada] Saib et al. (2021). The Effect of Noise on the Performance of Variational Algorithms for Quantum Chemistry. *arXiv (preprint)*.
<https://doi.org/10.1109/QCE52317.2021.00020>

[Arbitrada] Sengupta y Ray. (2017). University research and knowledge transfer: A dynamic view of ambidexterity in british universities. *Research Policy*.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.03.008>

[Arbitrada] Shukla et al. (2018). Complete characterization of the directly implementable quantum gates used in the IBM quantum processors. *arXiv (preprint)*.
<https://doi.org/10.1016/j.physleta.2020.126387>

[Arbitrada] Thomas et al. (2023). Beyond ambidexterity: universities and their changing roles in driving regional development in challenging times. *The Journal of Technology Transfer*.
<https://doi.org/10.1007/s10961-022-09992-4>

[Arbitrada] Todorova y Durisin. (2007). Absorptive capacity: Valuing a reconceptualization. *Academy of Management Review*. <https://doi.org/10.5465/amr.2007.25275513>

[Arbitrada] Treidel y Boichenko. (2024). Implementation of the Third Mission of the University: case of Bielefeld University of Applied Sciences. *Filosofiya osvity Philosophy of Education*. <https://doi.org/10.31874/2309-1606-2024-30-1-8>

[Arbitrada] Trencher et al. (2013). Beyond the third mission: Exploring the emerging university function of co-creation for sustainability. *Science and Public Policy*.
<https://doi.org/10.1093/scipol/sct044>

[Arbitrada] Tucker et al. (2024). Quantum-assisted rendezvous on graphs: explicit algorithms and quantum computer simulations. New Journal of Physics.
<https://doi.org/10.1088/1367-2630/ad78f8>

[Arbitrada] Weckowska. (2015). Learning in university technology transfer offices: transactions-focused and relations-focused approaches to commercialization of academic research. Technovation. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.11.003>

[Arbitrada] Yung y Usman. (2024). Clustering by Contour Coreset and Variational Quantum Eigensolver. Advanced Quantum Technologies. <https://doi.org/10.1002/qute.202300450>

Fuentes y enlaces

Este informe se construyó consultando un almacén documental indexado con búsqueda aumentada (`fileSearchStores/cuanticauniversidadeslimpio-nv64rm5hl2s6</code>), al que se incorporaron 165 documentos. Cada afirmación va acompañada de la cita al trabajo del que procede, en formato APA 7.a edición, y la relación completa de referencias está al final, con su identificador digital de objeto (DOI) cuando existe, para que cualquiera pueda comprobarla. Las citas que no pudieron verificarse contra la fuente fueron retiradas del texto.`

- [1]** Aiello et al. (2021). Achieving a quantum smart workforce. Quantum Science and Technology. <https://doi.org/10.1088/2058-9565/abfa64>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1088/2058-9565/abfa64>
PDF <https://doi.org/10.1088/2058-9565/abfa64>
- [2]** Amaro et al. (2021). A case study of variational quantum algorithms for a job shop scheduling problem. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-022-00123-4>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-022-00123-4>
PDF <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-022-00123-4>
- [3]** Ambos et al. (2008). When Does University Research Get Commercialized? Creating Ambidexterity in Research Institutions. Journal of Management Studies. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2008.00804.x>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2008.00804.x>
PDF <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2008.00804.x>
- [4]** Au-Yeung et al. (2022). NP-hard but no longer hard to solve? Using quantum computing to tackle optimization problems. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.3389/frqst.2023.1128576>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.3389/frqst.2023.1128576>
PDF <https://doi.org/10.3389/frqst.2023.1128576>
- [5]** Bigliardi et al. (2015). Factors affecting technology transfer offices' performance in the Italian food context. Technology Analysis and Strategic Management. <https://doi.org/10.1080/09537325.2014.1002464>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1080/09537325.2014.1002464>
PDF <https://doi.org/10.1080/09537325.2014.1002464>
- [6]** Cavallar et al. (2025). Phase-Sensitive Measurements on a Fermi-Hubbard Quantum Processor. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.22331/q-2026-05-12-2103>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.22331/q-2026-05-12-2103>
PDF <https://doi.org/10.22331/q-2026-05-12-2103>
- [7]** Chicago Quantum Exchange. (2025). Chicago Quantum Exchange. <https://chicagoquantum.org/>
(no citada en el texto)
PDF <https://chicagoquantum.org/>
- [8]** Compagnucci y Spigarelli. (2020). The Third Mission of the university: A systematic literature review on potentials and constraints. Technological Forecasting and Social Change. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120284>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120284>
PDF <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120284>

- [9] Consorcio Tianyan. (2025). Tianyan: Cloud services with quantum advantage. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2503.00001>
(no citada en el texto)
PDF <https://arxiv.org/abs/2503.00001>
- [10] DiCarlo et al. (2009). Demonstration of Two-Qubit Algorithms with a Superconducting Quantum Processor. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.1038/nature08121>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1038/nature08121>
PDF <https://doi.org/10.1038/nature08121>
- [11] Dogra et al. (2021). Quantum simulation of parity-time symmetry breaking with a superconducting quantum processor. Communications Physics. <https://doi.org/10.1038/s42005-021-00534-2>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1038/s42005-021-00534-2>
PDF <https://doi.org/10.1038/s42005-021-00534-2>
- [12] Elyasi et al. (2025). Experimental simulation of daemonic work extraction in open quantum batteries on a digital quantum computer. Quantum Science and Technology. <https://doi.org/10.1088/2058-9565/adae2d>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1088/2058-9565/adae2d>
PDF <https://doi.org/10.1088/2058-9565/adae2d>
- [13] Fox et al. (2020). Preparing for the quantum revolution: What is the role of higher education?. Physical Review Physics Education Research. <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.16.020131>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.16.020131>
PDF <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.16.020131>
- [14] Gaikwad et al. (2020). Experimental demonstration of optimized quantum process tomography on the IBM quantum experience. International Journal of Quantum Information. <https://doi.org/10.1142/s0219749920400043>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1142/s0219749920400043>
PDF <https://doi.org/10.1142/s0219749920400043>
- [15] Gray y Kourtis. (2021). Hyper-optimized tensor network contraction. Quantum. <https://doi.org/10.22331/q-2021-03-15-410>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.22331/q-2021-03-15-410>
PDF <https://doi.org/10.22331/q-2021-03-15-410>
- [16] Greinert et al. (2023). Future quantum workforce: Competences, requirements, and forecasts. Physical Review Physics Education Research. <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.19.010137>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.19.010137>
PDF <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.19.010137>
- [17] Hall et al. (2024). Artificial neural network syndrome decoding on IBM quantum processors. Physical Review Research. <https://doi.org/10.1103/physrevresearch.6.l032004>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1103/physrevresearch.6.l032004>
PDF <https://doi.org/10.1103/physrevresearch.6.l032004>

- [18] IBM Quantum. (2025). IBM Quantum. <https://www.ibm.com/quantum>
(no citada en el texto)
PDF <https://www.ibm.com/quantum>
- [19] IBM Quantum Network. (2025). IBM Quantum Network. <https://www.ibm.com/quantum/network>
(no citada en el texto)
PDF <https://www.ibm.com/quantum/network>
- [20] IQM Finlandia. (2025). IQM Quantum Computers. <https://www.iqm.fi/>
(no citada en el texto)
PDF <https://www.iqm.fi/>
- [21] Jansen et al. (2005). Managing Potential and Realized Absorptive Capacity: How do Organizational Antecedents Matter?. Academy of Management Journal. <https://doi.org/10.5465/amj.2005.19573106>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.5465/amj.2005.19573106>
PDF <https://doi.org/10.5465/amj.2005.19573106>
- [22] Karamlou et al. (2021). Analyzing the performance of variational quantum factoring on a superconducting quantum processor. npj Quantum Information. <https://doi.org/10.1038/s41534-021-00478-z>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1038/s41534-021-00478-z>
PDF <https://doi.org/10.1038/s41534-021-00478-z>
- [23] Kassotaki. (2022). Review of Organizational Ambidexterity Research. SAGE Open. <https://doi.org/10.1177/21582440221082127>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1177/21582440221082127>
PDF <https://doi.org/10.1177/21582440221082127>
- [24] Kaur y Venegas-Gomez. (2022). Defining the quantum workforce landscape: a review of global quantum education initiatives. Optical Engineering. <https://doi.org/10.1117/1.oe.61.8.081806>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1117/1.oe.61.8.081806>
PDF <https://doi.org/10.1117/1.oe.61.8.081806>
- [25] Krasnok, A. (2026). Quantum Computing Lectures: Foundations, Circuits, Algorithms, and Hardware (versión 2026.08) [curso abierto, cuadernos Jupyter]. Florida International University. <https://github.com/AlexKrasnok/quantum-computing-lectures>
(no citada en el texto)
PDF <https://github.com/AlexKrasnok/quantum-computing-lectures>
- [26] Kumar y Pathak. (2021). United Nation Security Council in Quantum World: Experimental Realization of Quantum Anonymous Veto Protocols using IBM Quantum Computer. arXiv (preprint).
(no citada en el texto)
PDF <http://arxiv.org/abs/2111.09028v1>
- [27] Lane et al. (2006). The Reification of Absorptive Capacity: A Critical Review and Rejuvenation of the Construct. Academy of Management Review. <https://doi.org/10.5465/amr.2006.22527456>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.5465/amr.2006.22527456>
PDF <https://doi.org/10.5465/amr.2006.22527456>

- [28] Leib et al. (2023). An optimization case study for solving a transport robot scheduling problem on quantum-hybrid and quantum-inspired hardware. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45668-1>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45668-1>
PDF <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45668-1>
- [29] Maceda y Sabín. (2024). Digital quantum simulation of cosmological particle creation with IBM quantum computers. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87015-6>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87015-6>
PDF <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87015-6>
- [30] MAGARÒ. (2024). Universities and Third Mission: Considerations from an Italian Perspective. Transylvanian Review of Administrative Sciences. <https://doi.org/10.24193/tras.si2024.12>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.24193/tras.si2024.12>
PDF <https://doi.org/10.24193/tras.si2024.12>
- [31] Mazhandu et al. (2019). Experimental simulation of hybrid quantum systems and entanglement on a quantum computer. Applied Physics Letters. <https://doi.org/10.1063/1.5126505>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1063/1.5126505>
PDF <https://doi.org/10.1063/1.5126505>
- [32] Miao y Barthel. (2023). Convergence and Quantum Advantage of Trotterized MERA for Strongly-Correlated Systems. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.22331/q-2025-02-11-1631>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.22331/q-2025-02-11-1631>
PDF <https://doi.org/10.22331/q-2025-02-11-1631>
- [33] Minh y Vân. (2022). Spin-Off and Commercialization of University Researches. Open Journal of Social Sciences. <https://doi.org/10.4236/jss.2022.101021>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.4236/jss.2022.101021>
PDF <https://doi.org/10.4236/jss.2022.101021>
- [34] Mura y Wada. (2021). Quantization of blackjack: Quantum basic strategy and advantage. Progress of Theoretical and Experimental Physics. <https://doi.org/10.1093/ptep/ptab125>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1093/ptep/ptab125>
PDF <https://doi.org/10.1093/ptep/ptab125>
- [35] Murillo et al. (2025). Quantum Software Engineering: Roadmap and Challenges Ahead. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. <https://doi.org/10.1145/3712002>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1145/3712002>
PDF <https://doi.org/10.1145/3712002>
- [36] Nallamotheula y Prybutok. (2026). Noise as a Resource: Experimental Demonstration of Environment-Assisted Quantum Transport on Quantum Hardware. Advanced Quantum Technologies. <https://doi.org/10.1002/qute.70328>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1002/qute.70328>
PDF <https://doi.org/10.1002/qute.70328>

- [37] Nita et al. (2021). The challenge and opportunities of quantum literacy for future education and transdisciplinary problem-solving. Research in Science & Technological Education. <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1920905>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1920905>
PDF <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1920905>
- [38] NQCC Reino Unido. (2025). National Quantum Computing Centre. <https://www.nqcc.ac.uk/>
(no citada en el texto)
PDF <https://www.nqcc.ac.uk/>
- [39] Oftelie y Campisi. (2025). Measurement of the work statistics of an open quantum system using a quantum computer. Quantum Science and Technology. <https://doi.org/10.1088/2058-9565/adbd6c>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1088/2058-9565/adbd6c>
PDF <https://doi.org/10.1088/2058-9565/adbd6c>
- [40] Ozaeta y McMahon. (2019). Decoherence of up to 8-qubit entangled states in a 16-qubit superconducting quantum processor. Quantum Science and Technology. <https://doi.org/10.1088/2058-9565/ab13e5>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1088/2058-9565/ab13e5>
PDF <https://doi.org/10.1088/2058-9565/ab13e5>
- [41] Prange y Schlegelmilch. (2009). The Role of Ambidexterity in Marketing Strategy Implementation: Resolving the Exploration-Exploitation Dilemma. BuR - Business Research. <https://doi.org/10.1007/bf03342712>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1007/bf03342712>
PDF <https://doi.org/10.1007/bf03342712>
- [42] Purohit et al. (2023). Building a quantum-ready ecosystem. IET Quantum Communication. <https://doi.org/10.1049/qtc2.12072>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1049/qtc2.12072>
PDF <https://doi.org/10.1049/qtc2.12072>
- [43] QuTech. (2025). QuTech - Delft University of Technology. <https://qutech.nl/>
(no citada en el texto)
PDF <https://qutech.nl/>
- [44] Saib et al. (2021). The Effect of Noise on the Performance of Variational Algorithms for Quantum Chemistry. arXiv (preprint). <https://doi.org/10.1109/QCE52317.2021.00020>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1109/QCE52317.2021.00020>
PDF <https://doi.org/10.1109/QCE52317.2021.00020>
- [45] Sengupta y Ray. (2017). University research and knowledge transfer: A dynamic view of ambidexterity in british universities. Research Policy. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.03.008>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.03.008>
PDF <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.03.008>

- [46] Shukla et al. (2018). Complete characterization of the directly implementable quantum gates used in the IBM quantum processors. arXiv (preprint).
<https://doi.org/10.1016/j.physleta.2020.126387>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2020.126387>
PDF <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2020.126387>
- [47] Thomas et al. (2023). Beyond ambidexterity: universities and their changing roles in driving regional development in challenging times. The Journal of Technology Transfer.
<https://doi.org/10.1007/s10961-022-09992-4>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1007/s10961-022-09992-4>
PDF <https://doi.org/10.1007/s10961-022-09992-4>
- [48] Todorova y Durisin. (2007). Absorptive capacity: Valuing a reconceptualization. Academy of Management Review. <https://doi.org/10.5465/amr.2007.25275513>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.5465/amr.2007.25275513>
PDF <https://doi.org/10.5465/amr.2007.25275513>
- [49] Treidel y Boichenko. (2024). Implementation of the Third Mission of the University: case of Bielefeld University of Applied Sciences. Filosofiya osvity Philosophy of Education.
<https://doi.org/10.31874/2309-1606-2024-30-1-8>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.31874/2309-1606-2024-30-1-8>
PDF <https://doi.org/10.31874/2309-1606-2024-30-1-8>
- [50] Trencher et al. (2013). Beyond the third mission: Exploring the emerging university function of co-creation for sustainability. Science and Public Policy.
<https://doi.org/10.1093/scipol/sct044>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1093/scipol/sct044>
PDF <https://doi.org/10.1093/scipol/sct044>
- [51] Tucker et al. (2024). Quantum-assisted rendezvous on graphs: explicit algorithms and quantum computer simulations. New Journal of Physics.
<https://doi.org/10.1088/1367-2630/ad78f8>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ad78f8>
PDF <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ad78f8>
- [52] Weckowska. (2015). Learning in university technology transfer offices: transactions-focused and relations-focused approaches to commercialization of academic research. Technovation. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.11.003>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.11.003>
PDF <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.11.003>
- [53] Yung y Usman. (2024). Clustering by Contour Coreset and Variational Quantum Eigensolver. Advanced Quantum Technologies. <https://doi.org/10.1002/qute.202300450>
(no citada en el texto)
DOI <https://doi.org/10.1002/qute.202300450>
PDF <https://doi.org/10.1002/qute.202300450>

Aviso de integridad: 53 fuente(s) de la lista no se citan en el texto (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53). O se citan o se quitan.